



**João Duarte Molina**

## **Metodologia TRIZ Aplicada ao Desenvolvimento do Conforto Acústico em Aeronaves Comerciais**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Orientadora: Professora Doutora Helena Vítorovna Guitiss  
Navas, Professora Auxiliar, FCT-UNL

Co-Orientadora: Professora Doutora Isabel L. Nunes,  
Professora Auxiliar, FCT-UNL

**Dezembro, 2013**

**Metodologia TRIZ Aplicada ao Desenvolvimento do Conforto Acústico em Aeronaves Comerciais.**

Copyright © João Duarte Molina, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*A todos aqueles que enfrentaram, com um sorriso na cara, os cinco longos anos de Engenharia Mecânica, desenvolvendo, assim, a capacidade de raciocínio indispensável à criatividade...*



# Agradecimentos

À Professora Doutora Helena Víctorovna Guitiss Navas, pela orientação do presente trabalho, pela disponibilidade que sempre teve e pela forma como sempre me deu liberdade para seguir aquilo que mais me fascinava.

Aos meus colegas de curso, indispensáveis para lidar com as frustrações da engenharia.

E um especial agradecimento aos meus pais, aos meus avós, aos meus dois primos Vasco e Miguel e à minha namorada Constança, que me possibilitaram todo este percurso escolar, pois sem eles nada disto seria possível.



# Resumo

Nas últimas décadas, a evolução dos transportes aéreos caracterizou-se pelo crescimento significativo de passageiros, de voos e do número de companhias aéreas. A concorrência entre as transportadoras aéreas tem vindo a aumentar, tornando, assim, vital o conforto e a satisfação do cliente. O conforto acústico é, atualmente, um dos componentes mais importantes na garantia do bem-estar no interior das aeronaves, sendo, por isso, fundamental o seu desenvolvimento e a sua melhoria contínua.

A cabine de uma aeronave é um espaço fechado onde o passageiro permanece durante certos períodos de tempo, sujeitando-se, assim, a fontes de ruído acústico provenientes de outros passageiros ou do próprio avião. Este ruído pode interferir na comunicação entre pessoas, perturbar o sono, o descanso e o relaxamento.

Atualmente, não existem meios de seleção das fontes de ruído, havendo, apenas, dispositivos que visam o isolamento sonoro total do ouvido. Nesta tese, foi conceptualizado um sistema de filtragem sonora constituído por auscultadores munidos de Controlo Passivo de Ruído e de um subsistema, que, por sua vez, também se encontra equipado por microfones direcionais “*shotgun*” capazes de filtrar todo o ruído exterior através de Controlo Ativo de Ruído e filtro passa-banda. A vantagem importante deste sistema consiste na eliminação da influência dos ruídos indesejáveis na comunicação entre as pessoas.

Na análise dos problemas (contradições) e na conceção do sistema em estudo, recorreu-se à Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ), devido às suas potencialidades no auxílio da criação de sistemas inovadores. A ferramenta principal utilizada, desta metodologia, foi a Análise Substância-Campo, o que proporcionou uma deteção de problemas e “arestas por limar” na ideia original.

Para além de eliminar os problemas detetados e ajudar na geração de soluções, produziu, ainda uma série de novas possibilidades que podem vir a ser implementadas, aumentando, com isso, as hipóteses de implementação real do sistema nas companhias aéreas.

**Palavras-chave:** TRIZ, Conforto Acústico, Auscultadores, Controlo Ativo de Ruído, Controlo Passivo de Ruído, Análise Substância-Campo





# Abstract

In recent decades, the evolution of air transport was characterized by a significant increase of passengers, number of flights and airlines. The competition between airlines has increased, thus making vital the comfort and customer satisfaction. Acoustic comfort is currently one of the most important components in ensuring the well-being inside the aircraft, and is, therefore, essential to their development and continuous improvement.

The cabin of an airplane is a space where the passenger remains closed during certain periods of time, subjecting thus audible noise sources from other passengers or the aircraft itself. This noise can interfere with communication between people, disturb sleep, rest and relaxation.

Currently, there are no means of selecting the sources of noise. There are only devices that target the total ear sound isolation. This thesis aimed to develop a filtration system consisting of sound headphones equipped with Passive Noise Control and a subsystem, which, in turn, is also equipped with directional microphones "shotgun" capable of filtering out all the outside noise through Active Noise Control and band-pass filter. The major advantage of this system is the elimination of the influence of unwanted noise in communication between people.

In the analysis of the problems (contradictions) and the design of the system under study, it was used the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), due to its potential to aid the creation of innovative systems. The main tool used in this methodology was the Substance-Field Analysis, which provided a detection of problems and "rough edges" in the original idea.

In addition to eliminating the problems detected and help in generating solutions, produced, still a lot of new possibilities that may be implemented, thereby maximizing the chance of using the system in airlines.

**Keywords:** TRIZ, Acoustic Comfort, Headphones, Active Noise Control, Passive Noise Control, Substance-Field Analysis



# Índice de Matérias

Agradecimentos .....	vi
Resumo.....	viii
Abstract .....	x
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Tabelas .....	xvi
Lista de Abreviaturas .....	xviii
1    Introdução .....	1
1.1    Enquadramento e Objetivos da Dissertação.....	1
1.2    Estrutura da Tese .....	2
2    Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ) .....	3
2.1    Introdução à Metodologia TRIZ.....	3
2.2    Características da TRIZ .....	6
2.3    Conceitos Fundamentais da TRIZ.....	7
2.3.1    Contradição .....	7
2.3.2    Idealidade .....	8
2.3.3    Padrões de Evolução .....	9
2.4    Principais Ferramentas e Técnicas da TRIZ .....	12
2.4.1    Princípios de Invenção e Matriz de Contradições.....	12
2.4.2    Análise Substância-Campo.....	15
2.4.3    Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas (ARIZ) .....	32
3    Análise da Problemática do Ruído Acústico no Interior de Aeronaves.....	35
3.1    Ergonomia nas Cabines das Aeronaves .....	35
3.2    Ruído Acústico .....	37
3.3    Conforto Acústico .....	40
3.4    Efeitos do Choro Infantil no Ser Humano .....	42
3.5    Conclusão.....	43
4    Desenvolvimento de um Sistema de Filtragem Sonora .....	45
4.1    Recolha de Características Relevantes para o Desenvolvimento do Sistema .....	45
4.1.1    Frequência do Discurso Útil.....	45
4.1.2    Frequência do Choro das Crianças .....	46
4.1.3    Controlo Ativo de Ruído. ....	48

4.1.4	Controlo Passivo de Ruído .....	49
4.1.5	Microfones Direcionais .....	50
4.1.6	Filtro Passa-banda.....	53
4.2	Aplicação da Análise Substância-Campo na Conceção do Sistema de Filtragem .....	54
4.2.1	Criação de Um Campo F.....	54
4.2.2	Introdução de Outro Campo F' .....	55
4.2.3	Alteração do Campo F' .....	58
4.2.4	Alteração do Campo F'' .....	63
5	Discussão dos Resultados .....	67
5.1	Descoberta de Novas Possibilidades Proporcionadas pela Análise Substância-Campo .....	70
6	Conclusões e Propostas para Desenvolvimentos Futuros .....	73
6.1	Propostas para Desenvolvimentos Futuros .....	74
6.1.1	Estudo de Mercado .....	74
6.1.2	Marcas e Preços .....	75
6.1.3	Protótipo.....	75
	Bibliografia.....	76
	Anexo .....	79

# Índice de Figuras

Figura 2.1. Fluxograma de Resolução de Problemas .....	4
Figura 2.2. Evolução dos Dispositivos de Armazenamento de Dados .....	9
Figura 2.3. A Evolução $\alpha$ de um Sistema Técnico (adaptado de [2], [4]) .....	10
Figura 2.4. A Evolução $\beta$ de um Sistema Técnico (adaptado de [2], [4]) .....	11
Figura 2.5. Diagrama Elementar da Análise Substância-Campo .....	15
Figura 2.6. Sistema Incompleto .....	17
Figura 2.7. Sistema Completo Ineficiente ou Insuficiente .....	18
Figura 2.8. Sistema Completo com Efeito Prejudicial .....	18
Figura 2.9. Solução Geral 1 .....	30
Figura 2.10. Solução Geral 2 .....	30
Figura 2.11. Solução Geral 3 .....	30
Figura 2.12. Solução Geral 4 .....	31
Figura 2.13. Solução Geral 5 .....	31
Figura 2.14. Solução Geral 6 .....	31
Figura 2.15. Solução Geral 7 .....	32
Figura 2.16. Processo Resumido do ARIZ (adaptado de [3]) .....	33
Figura 3.1 – Onda sinusoidal (adaptado de [18]) .....	38
Figura 3.2 – Equipamentos de Proteção Individuais Auditivos (adaptado de [19]) .....	39
Figura 3.3. Categorias de Conforto no Interior de um Avião (adaptado de [1]) .....	41
Figura 3.4. Pressão Aplicada por um Indivíduo ao Escutar Diferentes Sons (adaptado de [27]) ....	42
Figura 4.1. Frequência de Homens e Mulheres Adultas a Pronunciar a Pergunta “Não Sente o Cheiro do Ar Fresco?” em Alemão. (adaptado de [30]) .....	46
Figura 4.2. Frequência Útil do Choro do Bebê Macho (adaptado de [32]) .....	47
Figura 4.3. Frequência Útil do Choro do Bebê Fêmea (adaptado de [32]) .....	47
Figura 4.4. Cancelamento Ativo de Ruído (adaptado de [36]) .....	48
Figura 4.5. Exemplo de CPR (adaptado de [38]) .....	49
Figura 4.6. Especificações Típicas de Filtros Passa-banda. (adaptado de [42]) .....	53
Figura 4.7. Sistema Incompleto .....	54
Figura 4.8. Sistema Completo. ....	55
Figura 4.9. Introdução de um Novo Campo F' .....	56
Figura 4.10. Modelo Substância-Campo Detalhado .....	57

Figura 4.11. Campo F' .....	57
Figura 4.12. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância S1,1) .....	58
Figura 4.13. Diagrama Direcional do Microfone "Shotgun" .....	59
Figura 4.14. Alcance da Captação do Microfone "Shotgun" .....	60
Figura 4.15. Reposicionamento do Microfone "Shotgun" de Forma a Não se Captar Ruídos Indesejáveis .....	60
Figura 4.16. Seleção de Passageiro que se Pretende Escutar .....	61
Figura 4.17. Seleção de Microfone que se Pretende Escutar .....	62
Figura 4.18. Confirmação de Iniciação de Conversa Áudio .....	62
Figura 4.19. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância S1,2) .....	63
Figura 4.20. Frequência do Discurso Útil em Função da Idade (adaptado de [45]) .....	64
Figura 4.21. Filtro Passa-banda Utilizado no Sistema em Estudo (adaptado de [42]) .....	65
Figura 4.22. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância S1,3) .....	65
Figura 5.1. Auscultadores do Tipo "In-Ear" .....	67
Figura 5.2. Microfone Direcional "Shotgun" .....	68
Figura 5.3. Fluxograma do Sistema em Estudo .....	69
Figura 5.4. Esquema Simplificado do Sistema em Estudo .....	70
Figura 5.5. Diálogo Entre o Passageiro Verde e o Passageiro Azul .....	71
Figura 5.6. Diálogo Entre Várias Pessoas (As Pessoas Verdes) .....	72

# Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Parâmetros de Engenharia .....	13
Tabela 2.2. Princípios Inventivos .....	14
Tabela 2.3. Notação Utilizada nos Modelos de Substância-Campo [13]. .....	17
Tabela 2.4. Classe 1 das Soluções-Padrão.....	19
Tabela 2.5. Classe 2 das Soluções-Padrão.....	21
Tabela 2.6. Classe 3 das Soluções-Padrão.....	24
Tabela 2.7. Classe 4 das Soluções-Padrão.....	25
Tabela 2.8. Classe 5 das Soluções-Padrão.....	27
Tabela 4.1. Tipos e Especificações de Microfones. ....	50





# Lista de Abreviaturas

ARIZ	Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas
CAR	Controlo Ativo de Ruído
CPR	Controlo Passivo de Ruído
FN	Função Nociva
FP	Função Primária
FU	Função Útil
TRIZ	Teoria da Resolução Inventiva de Problemas
RFI	Resultado Final Ideal





# Introdução

## 1.1 Enquadramento e Objetivos da Dissertação

Nas últimas décadas, registou-se o maior crescimento no transporte aéreo, transformando-o, num dos meios de transporte mais importantes da atualidade. O crescimento do número de companhias aéreas também aumentou exponencialmente, fazendo com que a concorrência, entre elas, seja muito forte. Todo este crescimento e esta concorrência são acompanhadas, naturalmente, pelo desenvolvimento de novos aviões que precisam, cada vez mais, de responder a todas as medidas de segurança, não podendo ignorar o conforto do passageiro, tornando, assim, a questão da sua produção, num grande e constante desafio.

Do ponto de vista do conforto nos aviões, tanto para passageiros como para a tripulação, o conforto sonoro representa um dos mais importantes pontos. Para a tripulação, trata-se de um ponto ergonómico essencial, visto que o avião é o seu local de trabalho e para os passageiros, é fator determinante na escolha da companhia aérea o que significa que as estratégias, para melhorar o conforto acústico, devem ser, constantemente, otimizadas [1].

Torna-se, assim, necessário apelar à criatividade para se desenvolver novas formas de combater o ruído indesejável, tão prejudicial, hoje em dia, na cabine das aeronaves. A metodologia TRIZ aplica-se em qualquer questão que envolva criatividade. É uma metodologia sistemática, orientada ao ser humano, baseada em conhecimento, para a solução inventiva de problemas. Hoje em dia tem aplicações, sob formas diferentes, nas mais diversas áreas mas a ideia original é ajudar a inventar.

O objetivo desta tese é a conceptualização e a análise de uma ideia original e inovadora, que visa melhorar o conforto acústico dentro de aviões comerciais, através da metodologia TRIZ.

Esta ideia consiste na implementação de um sistema de auriculares especiais, capazes de filtrar todo o ruído indesejável, através de sistemas mecânicos e eletrónicos, melhorando, substancialmente, o conforto acústico no interior dos aviões.

## 1.2 Estrutura da Tese

A presente dissertação contém 6 capítulos:

1. Introdução
2. Introdução à Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ)
3. Análise da Problemática do Ruído Acústico no Interior de Aeronaves
4. Desenvolvimento de um Sistema de Filtragem Sonora
5. Discussão dos Resultados
6. Conclusões

A parte final inclui, ainda, os Anexos.

No Capítulo 1, **Introdução**, apresentam-se os objetivos do trabalho desenvolvido e a sua organização.

No Capítulo 2, **Introdução à Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ)**, refere-se a história da TRIZ, os seus parâmetros essenciais, as grandes vantagens que pode trazer e as suas principais ferramentas.

No Capítulo 3, **Problemática do Ruído Acústico em Aeronaves**, faz-se a alusão dos problemas que as companhias aéreas enfrentam, nos dias de hoje, a nível sonoro e quais as suas consequências no Homem.

No Capítulo 4, **Desenvolvimento de um Sistema de Filtragem Sonora**, começa por fazer-se uma recolha de informações essenciais para a análise. De seguida utiliza-se uma das ferramentas principais da metodologia TRIZ, para se encontrar uma solução. Essa ferramenta é a Análise Substância-Campo.

O Capítulo 5, **Discussão dos Resultados**, inicia-se com uma explicação resumida da solução para o problema, tanto escrita como esquematizada e faz-se uma alusão às novas possibilidades disponibilizadas pela metodologia TRIZ.

Os Capítulo 6 contem as **Conclusões** e algumas propostas para trabalho futuro, ou seja, formas de continuar a desenvolver a ideia presente nesta tese.

# Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ)

## 2.1 Introdução à Metodologia TRIZ

Qualquer empresa de sucesso reconhece a importância da invenção e da inovação para o seu negócio. A base das contradições com que se depara ao inventar e inovar é, quase sempre, um problema técnico e são, precisamente, estes problemas técnicos que a metodologia TRIZ ajuda a resolver.

TRIZ é uma sigla russa (*Teoriya Resheniya Izobreatatelskikh Zadatch*), que significa, literalmente, “Teoria da Resolução Criativa de Problemas”. Esta sigla nasceu nos anos setenta e foi criada por Genrich Altshuller, na Rússia.

Pode dizer-se que ainda se encontra na sua “infância”, devido a situações políticas e económicas que interferiram com o seu progresso, uma vez que esta metodologia encontrou-se desconhecida fora da União Soviética até à década de noventa. Neste momento, a sua popularidade cresce a cada dia que passa, já tendo sido citada por várias grandes empresas como a chave para um forte aumento de produtividade.

Muitos engenheiros da antiga União Soviética têm estudado e aplicado com extremo sucesso esta metodologia mas, infelizmente, os resultados obtidos não têm sido publicados. Apenas alguns artigos têm circulado de “mão-em-mão” por aqueles que se interessam pela TRIZ [2].

Na Figura 2.1 apresenta-se um esquema bastante simplificado da metodologia TRIZ.

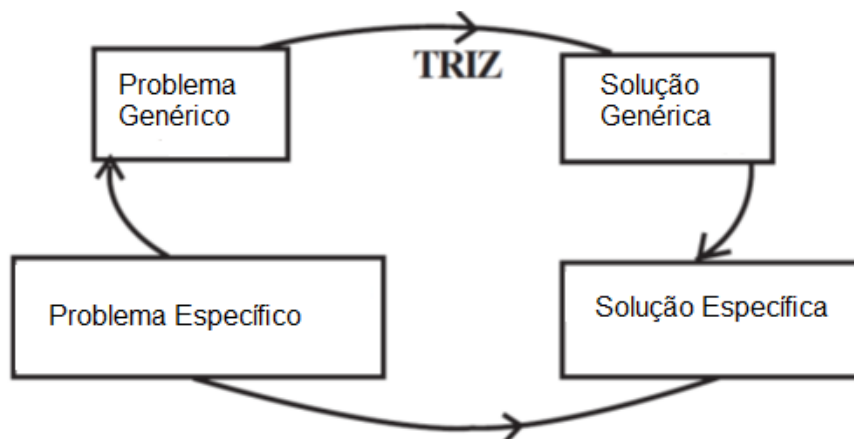


Figura 2.1. Fluxograma de Resolução de Problemas

É uma ciência internacional de criatividade que se baseia no estudo dos padrões de problemas e soluções, e não na criatividade espontânea e intuitiva de indivíduos ou grupos.

Todas as ciências conhecidas (exceto a matemática e a filosofia) podem ser classificadas de acordo com três grandes grupos:

- Ciências que estudam a Natureza (Física, Química, Biologia...)
- Ciências que estudam o comportamento humano e a sociedade (Psicologia, Economia, Sociologia...)
- Ciências que estudam objetos artificiais (Engenharia Mecânica, Aerodinâmica, Design, Arquitetura)

A singularidade da metodologia TRIZ baseia-se no conhecimento de todos estes grupos. Como ciência, a TRIZ aborda o problema de determinar e categorizar todas as características regulares, aspectos de sistemas técnicos e processos tecnológicos que precisam de ser inventados ou melhorados, bem como o processo da invenção em si [2].

O fundador desta metodologia examinou mais de um milhão e meio de patentes e descobriu que utilizando apenas alguns princípios de invenção se conseguia resolver a maior parte dos problemas, mesmo estando eles em campos totalmente diferentes [3]. Depois de sistematizar as soluções encontradas, dividiu-as em cinco níveis:

- Nível 1 – Soluções de rotina utilizando métodos bem conhecidos na respetiva área da especialidade. (30 % da totalidade das soluções)

Exemplo: A capacidade de alterar o tamanho das barbatanas para mergulhadores de forma a que sirvam para diferentes tamanhos, ajustando seu comprimento. (É curioso que este desenvolvimento só ocorreu na década de 1960, cerca de 70 anos após a invenção das barbatanas, isto é, durante 70 anos todos os mergulhadores usaram barbatanas desconfortáveis do mesmo tamanho).

- Nível 2 – Pequenas correções em sistemas existentes recorrendo a métodos conhecidos na indústria (45 % da totalidade das soluções).

Exemplo: As batatas podem apodrecer, como resultado de bactérias presentes naturalmente na sua superfície. O aquecimento em água a ferver mata as bactérias, mas também a quantidade de calor irá cozinhar o interior das batatas. A batata pode ser exposta durante um curto período de tempo (5 segundos) a uma chama de 700 ° C. Isto mata as bactérias da superfície, sem afetar o interior das batatas.

- Nível 3 – Melhorias importantes que resolvem contradições em sistemas típicos de um dado ramo da indústria (20 % da totalidade das soluções).

Exemplo: Os métodos utilizados, normalmente na movimentação de fundição, requerem sais quimicamente ativos. Estes sais requerem a utilização de dispositivos de saída muito dispendiosos. Um método mais económico utiliza uma mistura de ar e combustível que é bombeada para dentro do fundo da solução em ebulição criando, assim, bolhas. À medida que as bolhas sobem, movimentam os sais para o topo. Desde que as bolhas também queimem, os sais fundidos não solidificam.

- Nível 4 – Soluções baseadas na aplicação de novos princípios científicos (4 % da totalidade das soluções).

Exemplo: Microscópio, máquina a vapor, fotocopiadora, microscópio de força atómica.

- Nível 5 – Soluções inovadoras baseadas em descobertas científicas não anteriormente exploradas (1 % da totalidade das soluções).



Exemplo: Descoberta dos raios x, penicilina, DNA, laser, supercondutores de alta Tensão.

Estes níveis têm como função identificar e caracterizar os tipos de soluções encontrados. Esta classificação é baseada em estudos empíricos e é muito importante para se perceber a natureza da criatividade técnica.

## 2.2 Características da TRIZ

Vários autores tentaram descrever as características mais importantes da TRIZ. Savransky descreve do seguinte modo:

"TRIZ é uma metodologia sistemática, orientada ao ser humano, baseada em conhecimento, para a solução inventiva de problemas [2]".

A TRIZ é baseada em conhecimento porque:

- Contém heurísticas para a solução de problemas, cujas fontes originais de informações são patentes;
- faz uso de efeitos descobertos nas ciências naturais e na engenharia para a solução de problemas;
- orienta o levantamento e utilização de conhecimentos referentes ao domínio do problema específico a ser solucionado [2].

A TRIZ é orientada ao ser humano porque:

- As suas heurísticas são para uso humano, não computacional. A TRIZ é especialmente eficaz na solução conceitual de problemas, na qual - pelo menos com a tecnologia atual - o computador não consegue competir com o cérebro humano [2].

A TRIZ é sistemática porque:

- Contém métodos estruturados para orientar a resolução de problemas;
- considera a situação problemática, a solução e o processo de solução como sistemas [2].

A TRIZ é voltada para a solução inventiva de problemas porque:

- Embora tenha hoje aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento [4] (administração, publicidade, artes), a TRIZ nasceu na engenharia e o propósito inicial de seu fundador era desenvolver um método para inventar [2].

Além de ser definida como metodologia, é possível compreender a TRIZ como uma filosofia, uma ciência ou como o estudo de excelência.

A metodologia TRIZ possui uma vantagem considerável sobre os outros métodos relacionados com a resolução de problemas e inovação. Métodos como o “*brainstorming*”, mapa mental, pensamento lateral, análise morfológica, etc.. Estes métodos têm a capacidade de identificar um problema e a sua raiz, mas falta-lhes a capacidade de oferecer soluções para esse problema. A TRIZ encontra o problema, a sua raiz e ainda nos oferece a melhor solução ou as melhores soluções para a resolução do mesmo [4].

## 2.3 Conceitos Fundamentais da TRIZ

Os principais conceitos da TRIZ são a contradição, a idealidade e os padrões de evolução. Pelo menos um destes conceitos é utilizado em qualquer processo de resolução de problemas quando se utiliza esta metodologia [5].

### 2.3.1 Contradição

As contradições são excelentes para nos indicar os problemas decorrentes da aparente incompatibilidade das características desejadas de um sistema. Resolver as contradições resolve os problemas. Existem dois grandes tipos de técnicas: Contradições técnicas e contradições físicas [6].

Contradição Técnica:

Esta situação acontece quando uma tentativa para melhorar determinadas propriedades ou funções de um sistema conduz à deterioração de outros atributos do sistema.

Este tipo de contradição ocorre se:

- A criação ou intensificação de uma função útil num subsistema fazer com que se crie também uma função prejudicial nova ou se intensifique uma função existente prejudicial noutro subsistema.
- A eliminação (redução) da função nociva num subsistema provoca a deterioração da função útil noutro subsistema;

Contradição Física:

Esta situação ocorre quando há requisitos inconsistentes para a condição física do mesmo sistema. Esta contradição ocorre se:

- A intensificação duma função útil num subsistema fazer com que haja uma intensificação simultânea duma função prejudicial existente no mesmo subsistema chave.
- A redução de uma função nociva num subsistema fazer com que haja uma redução simultânea da função útil no mesmo subsistema chave.

## 2.3.2 Idealidade

O conceito de idealidade refere-se à observação da evolução dos sistemas técnicos, ao longo do tempo, no sentido do aumento das funções úteis e da diminuição das funções inúteis, prejudiciais e, mesmo, das funções neutras. A ocorrência deste fato pode ser observada tanto por meio das melhorias incrementais como das inovações radicais em produtos.

A idealidade de um sistema pode ser descrita matematicamente pela seguinte expressão:

$$Idealidade = \frac{\sum Funções\ benéficas}{\sum Funções\ prejudiciais}$$

Vejamos um exemplo de Idealidade. Antigamente, a capacidade de armazenamento dos computadores era bastante limitada, tornando necessário o desenvolvimento de *hardware* capaz de armazenar mais. O tamanho dos aparelhos era também um problema grave. Hoje em dia, estes mesmos aparelhos possuem uma capacidade muito superior de armazenamento e o seu tamanho diminuiu consideravelmente (Figura 2.2), possibilitando assim, o seu fácil transporte e a sua adaptabilidade.

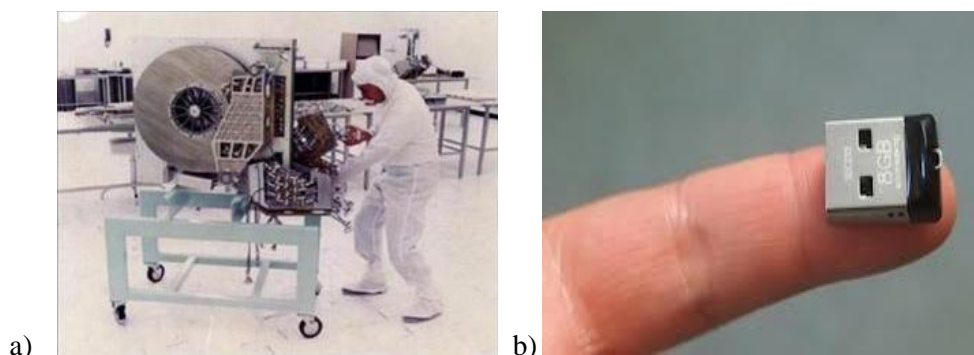


Figura 2.2. Evolução dos Dispositivos de Armazenamento de Dados

a) Disco Rígido com 1 GB em 1980

b) Dispositivo de Armazenamento de Dados USB com 8 GB em 2010 (adaptado de [7]).

### 2.3.3 Padrões de Evolução

Tem-se observado que os sistemas e processos técnicos, geralmente, seguem certas regularidades no seu desenvolvimento. Estas regularidades foram traduzidas em padrões de evolução e são úteis para a construção de soluções para problemas. Também são bastante boas para prever a evolução futura de uma técnica [8]. Savransky diz-nos [2] que é possível expressar a ideia de uma técnica de evolução através do conceito de idealidade, usando a noção de que qualquer técnica de evolução traz o aumento da sua idealidade.

De acordo com Savransky [2], uma técnica evolui no sentido de aumentar a sua idealidade de duas maneiras:

- Evolução durante a sua vida útil para aumentar a idealidade local.

Isto é descrito como a evolução  $\alpha$  por Savransky [2]. Aqui, a técnica de modo de operação, (a maneira pela qual ela desempenha a sua função primária (FP)), não é alterada, mas os seus parâmetros são melhorados. Isso aumenta a sua função útil (FU) e diminui as suas funções nocivas (FN) e os custos de recursos, aumentando, assim, a sua idealidade. Quando a idealidade de uma técnica é posta em gráfico com o tempo ao longo das fases da técnica de desenvolvimento (nascimento, infância, crescimento, maturidade e declínio) uma curva em S é normalmente produzida. Para o fim de sua vida útil, a técnica de idealidade aproxima-se dos seus limites, uma vez que se torna cada vez mais difícil melhorá-la ainda mais.

A curva S pode ser combinada com outras curvas mostrando o equivalente das etapas em termos de nível de criatividade, de inovação e rentabilidade associados com o desenvolvimento da técnica (Figura 2.3).

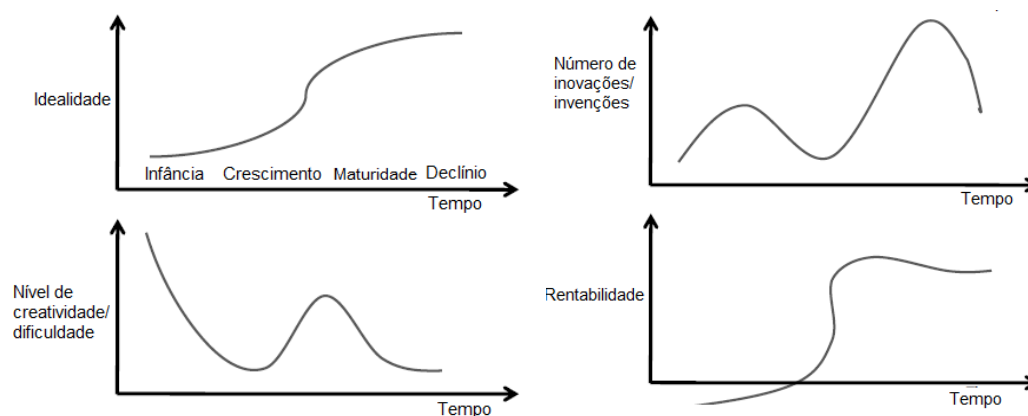


Figura 2.3. A Evolução  $\alpha$  de um Sistema Técnico (adaptado de [2], [4])

-Evolução pela transição para uma outra técnica.

Isto é descrito como a  $\beta$ -evolução por Savransky [2]. Isto ocorre à medida que se aproxima de uma técnica que está no fim da sua vida útil, e o potencial para a melhoria da sua idealidade atinge os seus limites. Como se mostra na Figura 2.4, a transição para uma nova técnica pode ser realizada através de uma solução inventiva. A FP da nova técnica será a mesma que na anterior, mas o modo pelo qual ela é atingida será diferente. Logo desde o início, esta nova técnica pode ter, ou uma melhor idealidade do que a técnica anterior, ou uma menor idealidade com o potencial de melhorar mais rapidamente do que o sistema anterior [2], [4].

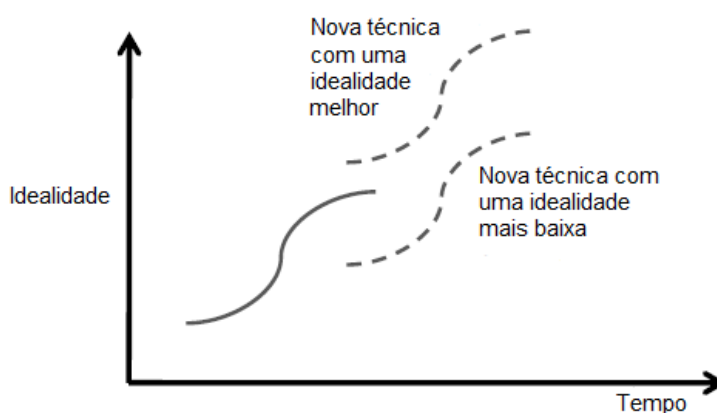


Figura 2.4. A Evolução  $\beta$  de um Sistema Técnico (adaptado de [2], [4])

Existem oito diferentes correntes que guiam uma técnica de desenvolvimento e, cada uma delas, divide-se em linhas de evolução [4].

- Menos envolvimento humano: mais automação e sistemas de “*self-service*”.
- Desenvolvimento de peças não uniforme: algumas partes do sistema desenvolvem-se mais rapidamente do que outras.
- Simplicidade - Complexidade - Simplicidade: um padrão de repetição, onde um sistema começa por ser simples, e aumenta em complexidade e é novamente simplificado.
- Aumentar o dinamismo, flexibilidade e o controlo: Os sistemas tornam-se mais dinâmicos e flexíveis.
- Aumentar a segmentação e a utilização de todos os campos: utilização progressiva de peças menores até as peças serem tão pequenas que, em conjunto, têm um efeito de campo.
- Compatibilidades e incompatibilidades: o sistema evolui para cumprir todas as funções necessárias de forma mais eficaz.
- Aumento da idealidade: mais benefícios são alcançados enquanto os custos e os danos diminuam.

- Etapas da evolução: os sistemas recém-inventados melhoram lentamente, seguindo-se um rápido aumento na idealidade até ao limite onde novos sistemas são necessários [9].

## 2.4 Principais Ferramentas e Técnicas da TRIZ

### 2.4.1 Princípios de Invenção e Matriz de Contradições

A matriz de contradição da metodologia TRIZ é, provavelmente, a ferramenta mais usada pelos utilizadores da metodologia TRIZ. É originalmente constituída por 39 parâmetros de engenharia (Tabela 2.1) e 40 princípios inventivos (Tabela 2.2) [10] que podem ser todos utilizados ou então pode-se excluir aqueles que não têm aplicação para o caso em estudo.

O processo de consulta à matriz inicia-se com a identificação, nas linhas, do parâmetro de engenharia a ser melhorado e, nas colunas, do parâmetro que é prejudicado com a melhoria do primeiro. No cruzamento do parâmetro a ser melhorado com o parâmetro afetado negativamente, estão os princípios inventivos considerados mais úteis, no levantamento realizado por Altshuller (1969), para a resolução da contradição [11].

A Matriz de Contradições pode ser consultada no Anexo.

Tabela 2.1. Parâmetros de Engenharia

1	Peso do objeto móvel	21	Potência
2	Peso do objeto estacionário	22	Perda de energia
3	Comprimento do objeto móvel	23	Perda de substância
4	Comprimento do objeto estacionário	24	Perda de informação
5	Área do objeto móvel	25	Perda de tempo
6	Área do objeto estacionário	26	Quantidade de substância
7	Volume do objeto móvel	27	Confiabilidade
8	Volume do objeto estacionário	28	Precisão de medição
9	Velocidade	29	Precisão de fabricação
10	Força	30	Fatores prejudiciais que afetam o objeto
11	Esforço ou pressão	31	Fatores prejudiciais gerados pelo objeto
12	Forma	32	Facilidade de fabricação
13	Estabilidade da composição do objeto	33	Facilidade de operação
14	Resistência	34	Facilidade de reparo
15	Duração da ação do objeto móvel	35	Adaptabilidade ou versatilidade
16	Duração da ação do objeto estacionário	36	Complexidade do objeto
17	Temperatura	37	Dificuldade de detecção e medição
18	Intensidade / brilho da iluminação	38	Grau de automação
19	Energia gasta pelo objeto móvel	39	Produtividade
20	Energia gasta pelo objeto estacionário		



Tabela 2.2. Princípios Inventivos

1	Segmentação	21	Aceração
2	Remoção	22	Transformação do prejuízo em lucro
3	Qualidade Localizada	23	Feedback
4	Mudança de Simetria	24	Intermediação
5	União ou Consolidação	25	Auto-Serviço
6	Universalização	26	Cópia
7	Aninhamento	27	Objetos descartáveis
8	Contrapeso	28	Substituição dos meios mecânicos
9	Compensação Prévia	29	Pneumática e hidráulica
10	Ação Prévia	30	Membranas flexíveis e filmes finos
11	Protecção Prévia	31	Materiais porosos
12	Equipotencialidade	32	Mudança de cor
13	Inversão	33	Homogeneização
14	Recurvação	34	Descarte e regeneração
15	Dinamização	35	Mudança de parâmetros e propriedades
16	Ação Parcial	36	Mudança de fase
17	Outra Dimensão	37	Expansão térmica
18	Vibração Mecânica	38	Oxidantes fortes
19	Ação Periódica	39	Atmosferas inertes
20	Continuidade de ação útil	40	Materiais compostos

## 2.4.2 Análise Substância-Campo

A Análise Substância-Campo é uma ferramenta útil para identificar problemas num sistema técnico e encontrar soluções inovadoras para esses problemas identificados. A Análise Substância-Campo é reconhecida como uma das ferramentas mais úteis da metodologia TRIZ e é capaz de modelar um sistema apenas com uma abordagem gráfica simples, para identificar problemas de identidade e também para oferecer soluções padronizadas para a melhoria do sistema em estudo.

Vejamos agora quando se deve utilizar a Análise Substância-Campo. Para definir um sistema técnico são necessárias e suficientes duas substâncias e um campo (Figura 2.5).

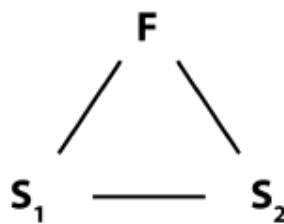


Figura 2.5. Diagrama Elementar da Análise Substância-Campo

Uma substância age sobre outra substância para fornecer uma função. As funções podem fornecer benefícios ou danos. Também podem ser boas, suficientes, insuficientes, ausentes ou prejudiciais. A função é modelada como triângulos com problemas representados graficamente como diferentes tipos de linhas ou linhas inexistentes para mostrar exatamente o que é certo e o que é errado.

Uma vez identificado o tipo de problema, a solução padrão relevante pode ser localizada e aplicada para corrigir quaisquer problemas, alterando, removendo ou adicionando substâncias ou campos. Os modelos Substancia-Campo levam-nos a uma análise detalhada das funções [12].

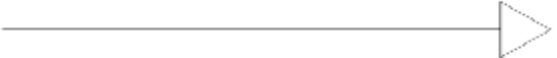



Definições para Substância-Campo:

- Substância significa qualquer objeto, independentemente da sua complexidade, conhecido como S1, S2, S3, etc..
- A substância pode ser representada por sistemas inteiros, subsistemas, objetos individuais, ferramentas ou artigos com por exemplo: submarinos, parafusos, cabos, engenheiros, etc. - todos são substâncias.
- A Substância S1 é alterada, tratada, transformada, descoberta, inspecionada, etc..
- A ação necessária é realizada pela substância S2.
- O campo F fornece a energia e a força que garante a reação de S2 em relação a S1 ou a sua mútua interação
- Estes três agentes ativos são necessários e suficientes para o resultado necessário do problema.
- Por si só, os campos ou as substâncias não podem produzir nenhum efeito. A substância S1 precisa de um instrumento S2 e da energia produzida pelo campo F [13].

O processo de construção dos modelos funcionais passa, normalmente, pelos seguintes estágios.

- Recolha da informação disponível.
- Construção do diagrama de Substância-Campo.
- Identificação da situação problemática.
- Escolha de uma das soluções genéricas.
- Desenvolvimento de uma solução específica para o problema.
- Para se construírem os modelos Substância-Campo, utiliza-se a notação descrita na tabela 2.3 [13].

Tabela 2.3. Notação Utilizada nos Modelos de Substância-Campo [13].

Símbolos	Significado
	Ação ou efeito desejado
	Ação ou efeito desejado insuficiente (ineficiente)
	Ação ou efeito prejudicial
	Operador de solução

Existem quatro tipos básicos de modelos de Substância-Campo:

- 1) Sistema completo (Figura 2.5, Pág. 15)
- 2) Sistema incompleto (Figura 2.6). É necessário completá-lo ou fazer um sistema novo.

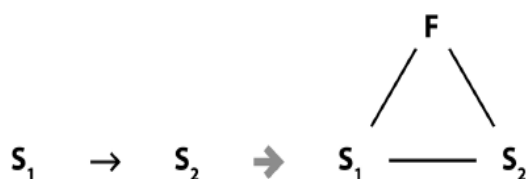


Figura 2.6. Sistema Incompleto

- 3) Sistema completo ineficiente ou insuficiente (Figura 2.7). É necessário melhorá-lo, modificando  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $F$  ou utilizando uma nova substância, para criar o efeito desejado.



Figura 2.7. Sistema Completo Ineficiente ou Insuficiente

- 4) Sistema completo com efeito prejudicial (Figura 2.8). Existe um efeito negativo que é preciso eliminar criando um novo campo com uma nova substância.



Figura 2.8. Sistema Completo com Efeito Prejudicial

A Análise Substância-Campo tem 76 soluções-padrão distribuídas em 5 classes:

Classe 1 – Construção ou destruição de Substância-Campo (Tabela 2.4)

Tabela 2.4. Classe 1 das Soluções-Padrão

<b>Classe 1. Construir e destruir modelos Substância-Campo</b>	
<b>1.1 Construção de modelos Substância-Campo</b>	
<b>1.1.1 Construção de um modelo Substância-Campo</b>	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para mudanças necessárias, e a descrição do problema não inclui quaisquer restrições para a introdução de substâncias ou campos, o problema pode ser resolvido através do preenchimento do modelo Substância-Campo para introduzir os elementos em falta.
<b>1.1.2 Modelo interno Substância-Campo complexo</b>	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para as mudanças necessárias, e a descrição do problema não inclui quaisquer restrições à introdução de substâncias e de campos, o problema pode ser resolvido pela transição permanente ou temporária para o modelo interno complexo Substância-Campo, ou seja, introduzindo aditivos em S1 ou S2 para aumentar a controlabilidade, ou conferir as propriedades pretendidas para o modelo de Substância-Campo.
<b>1.1.3 Modelo complexo externo Substância-Campo</b>	Se um determinado objeto não é recetivo (ou pouco recetivo) para as mudanças necessárias, e a descrição do problema inclui restrições à introdução de aditivos em substâncias existentes S1 e S2, o problema pode ser resolvido pela transição permanente ou temporária para o modelo externo Substância-Campo complexo, anexando S1 ou S2 à substância um externo S3, com a finalidade de aumentar a controlabilidade ou transmitir propriedades requeridas para o modelo de Substância-Campo.
<b>1.1.4 Modelo substância-campo externo com o meio ambiente</b>	Se um determinado modelo Substância-Campo não é recetivo (ou pouco recetivo) para as mudanças necessárias, e a descrição do problema inclui restrições à introdução de aditivos, tanto nele como anexando substâncias a ele, o problema pode ser resolvido com a construção de um modelo Substância-Campo, utilizando o ambiente como um aditivo.

<b>1.1.5 Modelo substância-campo com o ambiente e aditivos</b>	Se o ambiente não contém as substâncias necessárias para criar um modelo de Substância-Campo de acordo com a solução padrão 1.1.4, estas substâncias podem-se obter mediante a substituição do meio ambiente, a sua decomposição, ou a introdução de aditivos nele.
<b>1.1.6 Modo mínimo</b>	Se o modo mínimo (isto é, medido, ótimo) de ação é necessário e é difícil ou impossível de fornecê-lo, aplica-se o modo máximo, e em seguida, é recomendado eliminar o excedente. O campo excedente pode ser eliminado por uma substância e a substância excedente pode ser eliminada por um campo.
<b>1.1.7 Modo máximo</b>	Se o modo máximo de uma ação de uma substância é necessário e é proibido por várias razões, a ação máxima deve ser mantida, mas dirigida sobre uma outra substância ligada ao primeiro.
<b>1.1.8 Modo selectivo máximo</b>	Se um modo seletivo máximo é necessário (isto é, o modo máxima em zonas selecionadas e modo mínimo em outras zonas), o campo deve ser:  -máximo: neste caso, uma substância protetora deve ser introduzido em todos os lugares onde a influência mínima é necessária.  -mínimo: neste caso, uma substância capaz de gerar um campo local deveria ser introduzida em todos os lugares onde a influência máxima é necessária.
<b>1.2 Destruir modelos Substância-Campo</b>	
<b>1.2.1 Eliminando a interação prejudicial ao introduzir S3</b>	Se existirem ações tanto úteis como prejudiciais entre duas substâncias no modelo de Substância-Campo, não é necessário que estas substâncias sejam estreitamente adjacentes uma à outra, o problema pode ser resolvido mediante a introdução de uma terceira substância entre estas duas substâncias, que não tem custo (ou aproximadamente).
<b>1.2.2 Eliminando a interação prejudicial através da introdução de S1modificado e/ou S2</b>	Se existirem ações tanto úteis como prejudiciais entre duas substâncias no modelo de Substância-Campo, estas substâncias não têm de ser imediatamente adjacentes uma à outra, no entanto, a descrição do problema inclui restrições sobre a introdução de substâncias estranhas, o problema pode ser resolvido introduzindo, entre estas duas substâncias, uma terceira substância, que é uma modificação das substâncias existentes.

<b>1.2.3 "Retirar" uma ação prejudicial</b>	Se for necessário para eliminar a ação prejudicial de um campo de uma substância, o problema pode ser resolvido mediante a introdução de uma segunda substância que "retira" a ação prejudicial.
<b>1.2.4 Neutralizar uma ação prejudicial com F2</b>	Se existirem ações tanto úteis como prejudiciais entre duas substâncias no modelo de Substância-Campo e estas substâncias, ao contrário das soluções padrão 1.2.1 e 1.2.2, devem ser imediatamente adjacentes uma à outra, o problema pode ser resolvido através da criação de um modelo duplo de Substância-Campo, em que a ação útil é executada pelo campo F1 e o segundo campo F2, neutraliza a ação prejudicial ou transforma a ação prejudicial numa ação útil.

Classe 2 – Desenvolvimento de uma Substância-Campo (Tabela 2.5)

Tabela 2.5. Classe 2 das Soluções-Padrão

<b>Classe 2. Melhorando os modelos Substância-Campo</b>	
<b>2.1 Transição para modelos Substância-Campo complexos</b>	
<b>2.1.1 Modelo de cadeia de Substância-Campo</b>	Se é necessário para melhorar um modelo de Substância-Campo, o problema pode ser resolvido mediante a transformação de um elemento do modelo em uma forma independente-controlada do modelo Substância-Campo completo e criar um modelo de cadeia.  S3 ou S4, por sua vez podem ser transformados em um modelo de Substância-Campo completo.
<b>2.1.2 Modelo Substância-Campo duplo</b>	Se é necessário para melhorar um modelo Substância-Campo de difícil controle e a substituição de elementos é proibida, o problema pode ser resolvido através da construção de um modelo duplo através da aplicação de um segundo campo facilmente controlado.
<b>2.2 Impondo modelos Substância-Campo</b>	



<b>2.2.1 Aplicação de campos mais controláveis</b>	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado através da substituição de um campo incontrolável ou de difícil controlo por um que é facilmente controlado.
<b>2.2.2 Fragmentação de S2</b>	Um modelo de Substância-Campo pode ser melhorada através do aumento do grau de fragmentação da substância utilizada como uma ferramenta.
<b>2.2.3 Aplicação de substâncias capilares e porosas</b>	<p>Um caso especial de fragmentação da substância é a transição de uma substância sólida para uma capilar ou porosa. Esta transição prossegue de acordo com a seguinte linha:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- substância sólida</li><li>- substância sólida com uma cavidade</li><li>- substância sólida com várias cavidades</li><li>- substância capilar ou porosa</li><li>- substância capilar ou porosa com poros de estrutura e dimensões especiais</li></ul> <p>À medida que a substância desenvolve de acordo com esta linha, a possibilidade de colocar um líquido nas cavidades ou poros cresce, bem como a aplicação de alguns dos fenómenos naturais.</p>
<b>2.2.4 Dinamização</b>	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado para aumentar o seu nível de dinamismo, isto é, fazendo a estrutura do sistema mais flexível e fácil de mudar.
<b>2.2.5 Campos estruturantes</b>	<p>Um modelo Substância-Campo pode ser reforçado através da substituição de áreas homogéneas ou campos não estruturados tanto por campos heterogéneos como por campos de estrutura espacial permanente ou variável.</p> <p>Em particular, se é necessário para conferir uma estrutura especial espacial a uma substância, que é (ou pode ser) incorporada no modelo Substância-Campo, o processo de estruturação deve ser realizada em um campo tendo uma estrutura que corresponde à estrutura necessária da substância.</p>
<b>2.2.6 Substâncias estruturantes</b>	<p>Um modelo Substância-Campo pode ser melhorado, substituindo substâncias homogéneas ou não estruturadas tanto por substâncias heterogéneas como por substâncias com estrutura espacial permanente ou variável.</p> <p>Em particular, se for necessário para obter aquecimento intensivo em locais definidos, pontos ou linhas do sistema, recomenda-se que uma substância exotérmica seja introduzida antes do tempo.</p>

<b>2.3 Aplicação por ritmos correspondentes</b>	
<b>2.3.1 Correspondendo os ritmos do F e S1 ou S2</b>	A ação de um campo em um modelo Substância-Campo deve ser correspondido (ou intencionalmente mal correspondido) entre a frequência e a frequência natural do produto ou ferramenta.
<b>2.3.2 Correspondendo os ritmos de F1 e F2</b>	As frequências de campos aplicados em modelos Substância-Campo complexos devem ser compatíveis ou intencionalmente incompatíveis.
<b>2.3.3 Correspondendo ações incompatíveis ou previamente independentes</b>	Se duas ações são incompatíveis, uma delas deve ser realizada durante as pausas da outra. Em geral, as pausas numa ação devem ser preenchidas por outra ação útil.
<b>2.4 Modelos de campo ferromagnético (modelos Substância-Campo complexos forçados)</b>	
<b>2.4.1 Modelos pré-ferro-campo</b>	Um modelo de Substância-Campo pode ser reforçado pela utilização de substâncias ferromagnéticas, juntamente com um campo magnético.
<b>2.4.2 Modelos ferro-campo</b>	Para melhorar a controlabilidade do sistema, é sugerido que um modelo Substância-Campo ou pré-ferro-campo seja substituído por um modelo de ferro-campo. Para fazer isto, as partículas ferromagnéticas devem ser substituídas por (ou adicionados a) uma substância, e um campo magnético ou eletromagnético aplicado. Fichas, grânulos, grãos, etc., podem também ser considerados como partículas ferromagnéticas. A eficiência de controle aumenta com a maior fragmentação das partículas ferromagnéticas. Assim, modelos ferro-campo evoluem de acordo com a seguinte linha: granulado - pó - partículas ferromagnéticas finamente moídas. A eficiência de controle também aumenta ao longo da linha em relação a essa na qual a substância da partícula de ferro está incluído: substância sólida - grânulos - pó - líquido.
<b>2.4.3 Líquidos magnéticos</b>	Modelos ferro-campo podem ser melhorados através da utilização de líquidos magnéticos. Um líquido magnético é uma solução coloidal de partículas ferromagnéticas em um líquido, tal como o querosene, o silicone, a água, etc. A solução padrão 2.4.3 pode ser considerada o último caso da evolução de acordo com a
<b>2.4.4 Aplicando estruturas capilares em modelos ferro-campo</b>	Modelos ferro-campo podem ser melhorados utilizando as estruturas capilares ou porosas inerentes em muitos destes modelos.

Classe 3 – Transição de um sistema base para um supersistema ou para um subsistema (Tabela 2.6)

Tabela 2.6. Classe 3 das Soluções-Padrão

<b>Classe 3. Transição para supersistema e níveis micro</b>	
<b>3.1 Transição para bi-sistemas e poli-sistemas</b>	
<b>3.1.1 Sistema de transição 1- a: a criação de bi-sistemas e poli-sistemas</b>	O desempenho do sistema, em qualquer fase da evolução pode ser reforçado por transição do sistema 1-a: combinando o sistema com um outro sistema(s), construindo assim um bi-sistema ou um poli-sistema complexo.
<b>3.1.2 Elos reforçados em bi-sistemas e poli-sistemas</b>	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através do desenvolvimento dos elos das relações entre os seus elementos.
<b>3.1.3 Sistema de transição 1- b: aumentar as diferenças entre elementos</b>	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através do aumento das diferenças entre os seus elementos de transição (sistema 1-b): a partir de elementos idênticos, para elementos com características alteradas, para um conjunto de elementos diferentes, para uma combinação de características invertidas - ou "elemento e anti-elemento".
<b>3.1.4 Simplificação dos bi-sistemas e poli-sistemas</b>	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através da simplificação do sistema, em primeiro lugar, sacrificando peças auxiliares. Completamente simplificado bi-sistemas e poli-sistemas tornam-se mono- sistemas de novo, e todo o ciclo pode ser repetido com um novo nível.
<b>3.1.5 Sistema de transição 1- c: características opostas do todo e suas partes</b>	Bi-sistemas e poli-sistemas podem ser melhorados através da separação das características incompatíveis entre o sistema como um todo e suas partes (transição de sistema 1-c). Como resultado, o sistema é utilizado em dois níveis, com todo o sistema a ter a característica F, e as suas partes ou partículas tendo a característica oposta, anti-F.

Classe 4 – Medir ou detetar qualquer coisa dentro de um sistema técnico (Tabela 2.7)

Tabela 2.7. Classe 4 das Soluções-Padrão

<b>Classe 4. Soluções-Padrão para a detecção e medição</b>	
<b>4.1 Métodos indiretos</b>	
<b>4.1.1 Substituir a detecção ou a medição com a alteração do sistema</b>	Se tiver um problema com a detecção ou a medição, é adequado modificar o sistema de uma maneira que torna a necessidade de resolver o problema obsoleto.
<b>4.1.2 Aplicação de cópias</b>	Se tem um problema com a detecção ou medição, e é impossível aplicar a solução padrão 4.1.1, é adequado manipular uma cópia ou uma foto de um objeto em vez do próprio objeto.
<b>4.1.3 Medição como duas detecções consecutivos</b>	Se tiver um problema com a detecção ou medição e é impossível aplicar as Soluções-Padrão 4.1.1 e 4.1.2, é adequado transformar o problema em um, onde duas detecções consecutivos de variação são efetuadas.
<b>4.2 Construção de medição de modelos Substância-Campo</b>	
<b>4.2.1 Medição do modelo Substância-Campo</b>	Se um modelo Substância-Campo incompleto é difícil de medir ou detetar, o problema pode ser resolvido por preenchimento de um regular ou duplo modelo Substância-Campo com um campo numa saída.
<b>4.2.2 Medição do modelo complexo Substância-Campo</b>	Se um sistema ou a sua parte é difícil de detetar ou medir, o problema pode ser resolvido por transição para o interior ou exterior do modelo complexo de Substância-Campo com a introdução de aditivos de fácil detecção.
<b>4.2.3 Medição do modelo Substância-Campo com o meio ambiente</b>	Se um sistema é difícil de detetar ou medir em certos momentos no tempo, e é impossível introduzir aditivos, devem ser introduzidos nos ambientes aditivos capazes de gerar uma fácil detecção (ou fácil medição) do campo; alterações no estado do ambiente irão fornecer informações sobre as alterações no sistema.
<b>4.2.4 Obtenção de aditivos no ambiente</b>	Se não for possível a introdução de aditivos no meio ambiente em conformidade com a solução padrão 4.2.3, estes aditivos podem ser produzidos no próprio ambiente, por exemplo, através da sua destruição ou alterando o seu estado de fase. No gás, em particular ou bolhas de vapor obtidas por electrólise, ou por cavitação, ou outros métodos são frequentemente aplicados.

<b>4.3 Reforçando a medição dos modelos Substância-Campo</b>	
<b>4.3.1 Aplicando efeitos físicos e fenômenos</b>	A eficácia de medição e/ou detecção de um modelo Substância-Campo pode ser reforçada pela utilização de fenômenos físicos.
<b>4.3.2 Aplicando oscilações de ressonância de uma amostra</b>	Se é impossível detetar diretamente ou medir as mudanças num sistema e passar um campo através do sistema também é impossível, o problema pode ser resolvido através da geração de oscilações de ressonância de qualquer sistema como um todo ou uma parte dele; variações na frequência de oscilação fornecem informações sobre alterações do sistema.
<b>4.3.3 Aplicando oscilações de ressonância de um objeto combinado</b>	Se a aplicação de solução padrão 4.3.2 é impossível, a informação sobre o estado do sistema pode ser obtida através de oscilações livres de um objeto exterior ou do ambiente, ligadas ao sistema.
<b>4.4 Transição para ferro-campo modelos</b>	
<b>4.4.1 Medição do modelo pré-ferro-campo</b>	Modelos Substância-Campo com campos não magnéticos, são capazes de se transformar em modelos pré-ferro-campo que contenham substâncias magnéticas e um campo magnético.
<b>4.4.2 Medição modelo de ferro-campo</b>	A eficácia de uma medição e/ou detecção de um modelo substância-campo ou pré-ferro-campo pode ser melhorada através de uma transição para um modelo de ferro-campo, substituindo uma das substâncias com partículas ferromagnéticas ou pela adição de partículas ferromagnéticas.
<b>4.4.3 Medição complexa do modelo de ferro-campo</b>	Se a eficácia de medição e/ou de detecção pode ser reforçada através da transição para um modelo de ferro-campo, mas a substituição de substâncias com partículas ferromagnéticas é proibida, esta transição pode ser realizada através da criação de um modelo complexo de ferro-campo através da introdução de aditivos na substância.
<b>4.4.4 Medição modelo ferro-campo com o meio ambiente</b>	Se a eficácia de medição e / ou de detecção pode ser reforçada através da transição para um modelo de ferro-campo, mas a introdução de partículas ferromagnéticas é proibida, as partículas devem ser introduzidos no ambiente.

<b>4.4.5 Aplicação de efeitos físicos e fenômenos</b>	A eficácia de uma medição e / ou detecção do modelo Substância-Campo ou pré-ferro-campo pode ser melhorada através da aplicação de fenômenos físicos.
<b>4.5 Direção da evolução de sistemas de medição</b>	
<b>4.5.1 Transição para bi-sistemas e poli-sistemas</b>	A eficácia de uma medição e / ou detecção do modelo substância-campo ou pré-ferro-campo em qualquer fase da evolução pode ser melhorada através da construção de um bi-sistema ou de um poli-sistema.
<b>4.5.2 Direção da evolução</b>	Sistemas de medição e / ou detecção evoluem na seguinte direção:  -medição de uma função -medição da primeira derivada da função -medição da segunda derivada da função

Classe 5 – Introdução de substâncias ou campos dentro de um sistema técnico (Tabela 2.8)

Tabela 2.8. Classe 5 das Soluções-Padrão

<b>Classe 5. Normas para a aplicação das Soluções-Padrão</b>	
<b>5.1 Introduzindo substâncias</b>	
<b>5.1.1 Métodos indiretos</b>	<p>Se as condições de trabalho não permitem a introdução de substâncias num sistema, as seguintes maneiras indiretas devem ser utilizadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- aplicação do "vazio" (espaço aberto) em vez da substância</li> <li>- introdução de um campo em vez da substância</li> <li>- aplicação de um aditivo externo, em vez de um interno</li> <li>- introduzindo uma pequena quantidade de um aditivo muito ativo</li> <li>- introdução de uma pequena quantidade do aditivo na forma concentrada em locais específicos</li> <li>- introduzindo o aditivo temporariamente</li> <li>- aplicando um modelo ou cópia de um objeto, em vez do próprio objeto, permitindo a introdução de aditivos</li> <li>- obtenção de aditivos necessários através da decomposição dos produtos químicos introduzidos</li> </ul>

<b>5.1.2 Dividir uma substância</b>	Se um sistema não responde a alterações, e modificar a ferramenta ou introduzir aditivos é proibido, partes que interagem da peça de trabalho podem ser utilizadas em vez da ferramenta.
<b>5.1.3 Auto eliminação de substâncias</b>	Após a realização do seu trabalho, uma substância introduzida deve desaparecer ou tornar-se idêntica a substâncias já existentes no sistema ou no meio ambiente.
<b>5.1.4 Introduzindo substâncias em grandes quantidades</b>	Se as condições não permitem a introdução de grandes quantidades de uma substância, o "vazio" como estrutura inflável ou de espuma pode ser utilizada em vez da substância.
<b>5.2 Introdução de campos</b>	
<b>5.2.1 Uso múltiplo de campos disponíveis</b>	Se for necessário introduzir um campo em um modelo substância-campo, deve-se em primeiro lugar, aplicar campos existentes cujos portadores são as substâncias envolvidas.
<b>5.2.2 Introdução de campos a partir do ambiente</b>	Se é necessário introduzir um campo, mas é impossível fazê-lo, de acordo com solução padrão 5.2.1, tente aplicar campos existentes no meio ambiente.
<b>5.2.3 Utilizar substâncias capazes de originar campos</b>	Se um campo não pode ser introduzido em conformidade com as Soluções-Padrão 5.2.1 e 5.2.2, deve-se aplicar campos que podem ser gerados por substâncias existentes no sistema ou no ambiente.
<b>5.3 Transições de fase</b>	
<b>5.3.1 Transição de fase 1: mudança de fase</b>	A eficácia da aplicação de uma substância (sem a introdução de outras substâncias) pode ser melhorada através da transição de fase 1, isto é, por transformação de fase de uma substância existente.
<b>5.3.2 Transição de fase 2: estado de fase dinâmico</b>	As características duais de uma substância podem ser realizadas através da transição de fase 2, isto é, através da utilização de substâncias capazes de alterar o seu estado de fase, dependendo das condições de trabalho.
<b>5.3.3 Transição de fase 3: utilizando fenômenos associados</b>	Um sistema pode ser melhorado usando a transição de fase 3, isto é, mediante a aplicação de fenômenos que acompanham uma transição de fase.
<b>5.3.4 Transição de fase 4: transição para um estado de dupla fase</b>	As características duais de um sistema podem ser realizadas através da transição de fase 4, isto é, por substituição de um estado monofásico por um estado de fase dupla.

<b>5.3.5 Interação de fase</b>	A eficácia de um sistema utilizando a transição de fase 4, pode ser melhorada através da criação de interações entre as partes ou fases do sistema.
<b>5.4 Peculiaridades da aplicação de efeitos físicos e fenómenos</b>	
<b>5.4.1 Transições autocontroladas</b>	Se um objeto deve periodicamente existir em diferentes estados físicos, esta transição deve ser realizada pelo próprio objeto através da utilização de transições físicas reversíveis.
<b>5.4.2 Amplificação do campo de saída</b>	Se uma ação forte sob uma fraca influência é necessária, a substância transformadora deve estar no estado quase crítico. A energia é acumulada na substância e a influência funciona como um gatilho.
<b>5.5 Soluções-Padrão experimentais</b>	
<b>5.5.1 Obtenção de partículas de substâncias através da decomposição</b>	Se as partículas de uma substância são necessárias a fim de realizar um conceito da solução, e obtê-los directamente é impossível, as partículas necessárias devem ser criadas pela decomposição de uma substância de nível estrutural mais elevado.
<b>5.5.2 Obtenção de partículas de substâncias através da integração</b>	Se as partículas de uma substância são necessárias a fim de realizar um conceito da solução e é impossível obtê-los directamente e é impossível aplicar a solução padrão 5.5.1, as partículas necessários podem ser criadas completando ou combinando as partículas de um nível inferior estrutural.
<b>5.5.3 A aplicação das Soluções-Padrão 5.5.1 e 5.5.2</b>	A maneira mais fácil de aplicar a solução padrão 5.5.1 é destruir o próximo nível mais alto "completo" ou "excessivo". A maneira mais fácil de aplicar a solução padrão 5.5.2 é completar o mais próximo do nível mais baixo "incompleto".



Estas 76 Soluções-Padrão podem ser condensadas e generalizadas em 7 Soluções Gerais:

Solução Geral 1 – Completar um modelo Substância-Campo que se encontre incompleto (Figura 2.9).

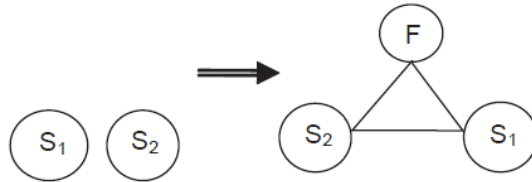


Figura 2.9. Solução Geral 1

Solução Geral 2 – Modificar a substância S1 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 2.10).

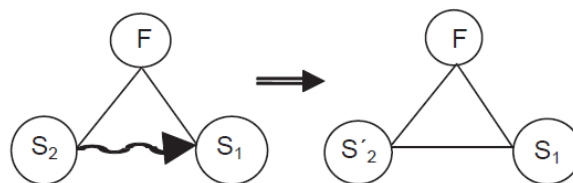


Figura 2.10. Solução Geral 2

Solução Geral 3 - Modificar a substância S2 para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 2.11).

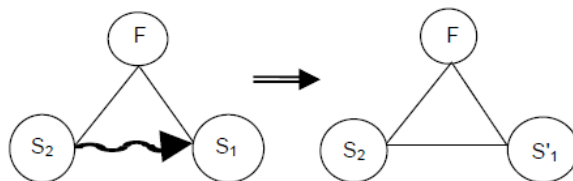


Figura 2.11. Solução Geral 3

Solução Geral 4 - Modificar o campo F para eliminar/ reduzir o impacto negativo ou então para produzir/melhorar o impacto positivo (Figura 2.12).

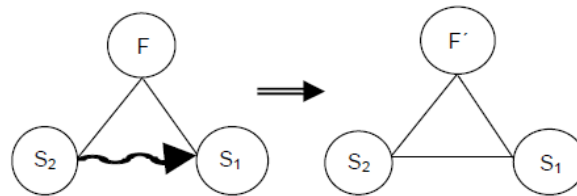


Figura 2.12. Solução Geral 4

Solução Geral 5 - Eliminar, neutralizar ou isolar o impacto negativo utilizando outro campo  $F_x$  que interaja com o sistema (Figura 2.13).

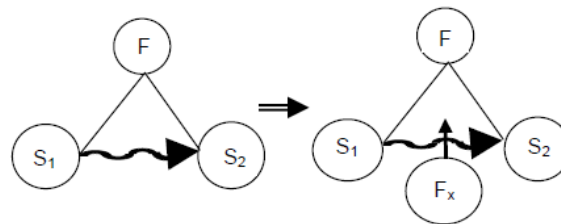


Figura 2.13. Solução Geral 5

Solução Geral 6 – Introduzir um novo campo positivo (Figura 2.14).

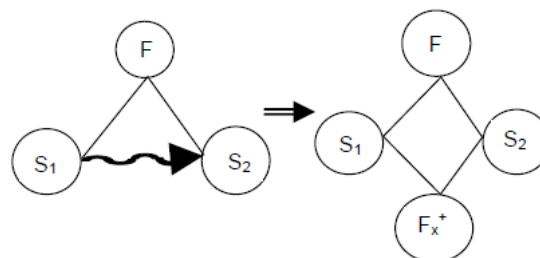


Figura 2.14. Solução Geral 6

Solução Geral 7 – Expandir um modelo Substância-Campo existente para um novo sistema em cadeia (Figura 2.15).

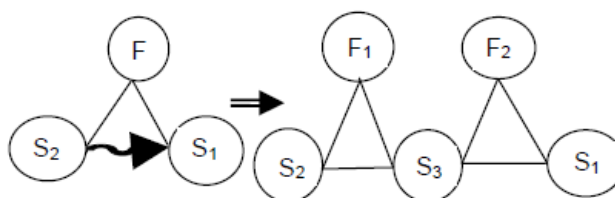


Figura 2.15. Solução Geral 7

### 2.4.3 Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas (ARIZ)

O ARIZ é a sigla russa que significa *Algoritmo de Resolução Inventiva de Problemas* e consiste num programa algorítmico sequencial, que descreve a sequência de ações que devem ser feitas para identificar e resolver as contradições, ou seja, para resolução inventiva de problemas. ARIZ é um processo lógico estruturado, que faz evoluir, de forma incremental, um problema complexo para um ponto em que se torna simples de resolver. Altshuller dizia que o ARIZ era especialmente apropriado para resolver problemas fora do habitual, sendo uma ferramenta que visa auxiliar o pensamento, não para substituir o pensamento [3]. Na Figura 2.16 é possível consultar o processo resumido do ARIZ.



Figura 2.16. Processo Resumido do ARIZ (adaptado de [3])

Ao longo dos anos, Altshuller desenvolveu várias versões do ARIZ. A versão mais utilizada atualmente é a versão ARIZ-85c e contém cerca de 85 etapas diferentes. No entanto, a versão mais atual já conta com cerca de 100 etapas.

Para se utilizar o ARIZ, analisa-se o enunciado do problema e, de seguida, formulam-se as contradições técnicas. Procura-se, depois, na tabela de contradições, quais os conceitos a utilizar. Procede-se então à análise de conflitos. Os elementos em conflito incluem a peça que é o elemento que necessita de ser alterado e a ferramenta que é responsável por essa alteração. Deve-se construir modelos gráficos que ajudem a ver o problema de uma forma mais simplificada. O passo seguinte é a formulação do problema em termos do Resultado Final Ideal (RFI). Uma solução só é considerada RFI se:

- Se consegue obter uma nova característica benéfica
- Se elimina uma característica prejudicial sem degradar as outras ou sem criar novas que também sejam prejudiciais

O RFI é em seguida transformado em contradição física mais pormenorizada. A eliminação da contradição física baseia-se num dos três princípios:

- Separação temporal das propriedades antagónicas;
- Separação espacial das propriedades antagónicas;
- Separação das propriedades antagónicas por redistribuição das mesmas no interior do sistema;

Se o processo ARIZ não resolver o problema, este deve ser reformulado e o processo será repetido.

# Análise da Problemática do Ruído Acústico no Interior de Aeronaves

A principal meta dos fabricantes de aeronaves é a melhoria da eficiência e segurança dos sistemas de transporte aéreo. Com a crescente concorrência entre as companhias aéreas, a satisfação do cliente e o conforto dos passageiros a bordo têm vindo a ganhar atenção.

## 3.1 Ergonomia nas Cabines das Aeronaves

Ergonomia refere-se ao estudo das interações do homem com o trabalho, máquinas, equipamentos e meio ambiente, a visa melhorar a segurança, conforto e eficiência das atividades humanas [14].

Derivado do grego “*ergon*” (trabalho) e “*nomos*” (leis) para denotar a ciência do trabalho, a Ergonomia é uma disciplina de sistemas orientada, que agora se aplica a todos os aspetos da atividade humana. Um ergonomista deve ter um amplo conhecimento da disciplina, tendo em conta os fatores cognitivos, organizacionais, físicos, sociais, ambientais e outros relevantes. Os ergonomistas trabalham em determinados sectores económicos ou domínios de aplicação. Estes domínios de aplicação não são mutuamente exclusivos e evoluem constantemente [14].

Esta definição apresenta a Ergonomia com a finalidade prática de transformação e adaptação das situações e dos dispositivos, especificando os conhecimentos científicos relativos ao Homem. A Ergonomia direciona os seus estudos abarcando tanto as condições prévias de trabalho, ou seja, a conceção do trabalho, como também as consequências do trabalho que interagem na relação entre o Homem, a máquina e o ambiente durante o seu relacionamento com esse sistema produtivo [15].

A Ergonomia atua nos seguintes domínios de especialização:

- Ergonomia Física: direciona-se à postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de postos de trabalho, segurança e saúde do trabalhador;
- Ergonomia Cognitiva: diz respeito aos processos mentais, como a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, relacionados com as interações entre as pessoas e outros elementos de um sistema;
- Ergonomia Organizacional: abrange as estruturas organizacionais, políticas e processos, como a comunicação, a programação do trabalho em grupo, cultura organizacional, organizações em rede e gestão da qualidade.

A Ergonomia nas cabines das aeronaves tem vindo sempre a focar-se sobretudo no assento do passageiro e da tripulação, ou seja, Ergonomia física. As pessoas a bordo de uma aeronave precisam de se manter numa postura correta. Para os passageiros, é uma questão de conforto, a qual é parte de toda a experiência de voo. No entanto, para os membros da tripulação de voo, é necessário um assento que não só garanta o conforto como também reduza a fadiga de estar sentado na mesma posição por um período considerável de tempo. O projeto ergonómico do assento deve permitir que os pilotos manobrem a aeronave de forma eficiente.

A Ergonomia de projeto do produto está inserida numa lógica de mercado e concorrência, em que há incertezas muito grandes sobre as evoluções dos produtos. Assim, a conceção do produto deve ter em conta todos os problemas que poderiam ocorrer durante e depois da sua fabricação [16]. Existe também a Ergonomia de correção. A Ergonomia de correção é desenvolvida em situações sobre as quais é necessário aperfeiçoar as condições de trabalho, melhorar a Ergonomia de um produto ou a eficiência de um processo. A sua atuação é parcial e de eficácia limitada, pois a ação ergonómica neste caso é mais dura por ter que se adaptar a uma realidade já fornecida.

A Ergonomia nas cabines das aeronaves tem vindo sempre a focar-se sobretudo no assento do passageiro e da tripulação, ou seja, Ergonomia física. As pessoas a bordo de uma aeronave precisam de se manter numa postura correta. Para os passageiros, é uma questão de conforto, a qual é parte de toda a experiência de voo. No entanto, para os membros da tripulação de voo, é necessário um assento que não só garanta o conforto como também reduza a fadiga de estar sentado na mesma posição por um período considerável de tempo. O projeto ergonómico do assento deve permitir que os pilotos manobrem a aeronave de forma eficiente.

No entanto, a projeção do assento está longe de ser a única questão ergonómica nas cabines das aeronaves. O ruído acústico faz parte do meio ambiente da cabine das aeronaves e portanto deve

ser estudado e avaliado do ponto de vista ergonómico. Se for prejudicial, deve ser tratado e, se possível eliminado.

## 3.2 Ruído Acústico

O ruído acústico é um som indesejado. A definição e a perceção de ruído acústico requer, primeiro, a compreensão do som.

O som é o resultado do movimento oscilatório ou vibração de um objeto. Este movimento é impresso no meio circundante (tal como o ar, sólido, líquido ou outro gás), como um padrão de flutuações na pressão (oscilações acústicas). Portanto o som indica uma perturbação mecânica da pressão constante num meio elástico (geralmente ar), que é propagada em todas as direções, a uma velocidade de cerca de 335 m/s. O que de facto acontece é que as partículas atmosféricas, ou moléculas, são mais comprimidas do que o normal, o que resulta num aumento da pressão que leva a que, de seguida, sejam forçadas a afastarem-se mais rapidamente do que o normal. A onda sonora move-se para fora do objeto oscilante, mas as moléculas não avançam com a onda ficando, apenas, a vibrar uniformemente [17].

Um dos tipos mais simples de som é a onda sinusoidal, também conhecido como vibração sinusoide ou sinusoidal (Figura 3.1). As ondas sinusoidais produzem respostas particularmente simples no sistema auditivo e têm um som muito "nítido" ou "puro". Assim, estes sons são também chamados tons simples ou puros. A onda sinusoidal tem três parâmetros físicos: a frequência, ou o número de repetições de uma forma de onda por segundo (especificado em hertz, onde 1 hertz (Hz) = 1 ciclo/s), a amplitude, ou a extensão da variação de pressão em torno da média ou norma, e a fase através da qual a onda vai avançado em relação a algum ponto fixo no tempo. O tempo necessário para um ciclo completo em forma de onda indica o período que corresponde ao da frequência. O ouvido humano é sensível aos sons entre aproximadamente 20 Hz e 20 kHz [17].



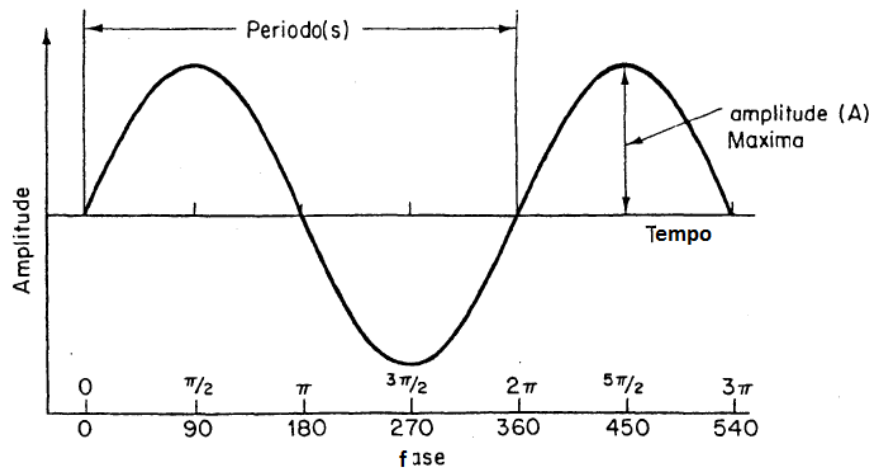


Figura 3.1 – Onda sinusoidal (adaptado de [18])

A intensidade do ruído é medida em decibéis (dB). A escala de decibéis é logarítmica, o que significa que um aumento de três decibéis no nível de som já representa uma duplicação da intensidade do ruído. Por exemplo, uma conversa normal pode ser de cerca de 65 dB e alguém a gritar representa tipicamente cerca de 80 dB. A diferença é de apenas 15 dB, mas alguém a gritar é 30 vezes mais intenso e é por isso que o choro infantil se torna tão prejudicial se for escutado durante muitas horas. O ouvido humano tem sensibilidades que respondem, de forma diferente, às frequências, à força e à intensidade do ruído [18].

Não é apenas a intensidade que determina se o ruído é perigoso. O tempo de exposição também é muito importante. Para se avaliar o tempo de exposição são utilizadas médias ponderadas de níveis de som e tempo médio de exposição. Em relação ao ruído no local de trabalho, geralmente, este é baseado num dia de trabalho de 8 horas. O ruído não precisa de ser excessivamente alto para causar problemas no local de trabalho. A interação do ruído com outros potenciais perigos no local de trabalho pode aumentar os riscos para os trabalhadores, por exemplo:

- A perda auditiva: Em muitos países, a perda auditiva induzida por ruído é a doença profissional irreversível de maior prevalência.
- Efeitos fisiológicos: há evidências de que a exposição ao ruído tem um efeito sobre o sistema cardiovascular, resultando na libertação de catecolaminas e um aumento na pressão sanguínea.
- *Stress* relacionado com o trabalho: o *stress* relacionado com o trabalho raramente tem uma única causa, e geralmente surge a partir de uma interação de vários fatores de risco.

O ruído no ambiente de trabalho pode ser um fator de *stress*, mesmo em níveis bastante baixos.

- Aumento do risco de acidentes: níveis de ruído elevados tornam difícil para os trabalhadores ouvir e comunicar, aumentando a probabilidade de acidentes. *Stress* relacionado com o trabalho (em que o ruído pode ser um fator) pode agravar este problema.

Os empregadores têm o dever legal de proteger a saúde e a segurança dos funcionários de todos os riscos relacionados com o ruído. Eles devem:

- Realizar uma avaliação do risco - o que pode implicar a realização de medições do nível de ruído, mas deve considerar todos os riscos potenciais associados ao ruído (por exemplo, acidentes, bem como a perda de audição);
- Sempre que possível, eliminar as fontes de ruído;
- Controlar o ruído na sua fonte;
- Reduzir a exposição do trabalhador através da organização do trabalho, incluindo a marcação de e restrição de acesso a áreas de trabalho onde os trabalhadores possam ser expostos a níveis de ruído elevados;
- Fornecer, em último caso, equipamentos de proteção individuais aos empregados (Figura 3.2);



Figura 3.2 – Equipamentos de Proteção Individuais Auditivos (adaptado de [19])

- Informar, consultar e formar os trabalhadores sobre os riscos enfrentados e como usar proteção contra o ruído;
- Monitorizar os riscos e rever medidas preventivas - o que pode incluir a vigilância médica

Fica claro que o ruído acústico no interior da cabine das aeronaves pode causar problemas graves tanto à tripulação como aos passageiros.

### 3.3 Conforto Acústico

Conforto refere-se a um estado psicológico de bem-estar subjetivo (no sentido de relaxamento, prazer, satisfação, conveniência) induzida em condições ideais [18]. As pessoas tendem a evitar ambientes que as façam sentir desconfortáveis [20]. Assim, a experiência de conforto numa cabine da aeronave influencia a aceitação dos passageiros deste veículo e pode contribuir para as decisões futuras como por exemplo, se esse veículo ou se essa companhia específica é escolhida ou evitada. Um voo confortável também pode causar menos problemas às tripulações devido ao comportamento dos passageiros e poderia, assim, evitar problemas e, finalmente, aumentar a segurança.

Recentemente, a necessidade de mais conhecimento sobre o conforto humano, visando uma relação com a ampla gama de produtos que as pessoas normalmente usam, incluindo o ambiente interior da aeronave, foi destacada por estudos científicos que revelaram a importância da construção de um novo modelo capaz de responder às novas necessidades [21].

Fatores de conforto dos passageiros na cabine incluem fatores físicos, sociais, situacionais e pessoais [20].

As condições físicas no ambiente de cabine são incomuns ao passageiro e por isso torna-se muito importante compreender, por exemplo, as condições térmicas, como temperatura ou humidade, a pressão do ar, a vibração e ruído da cabine contínua, entre outras.

Os fatores sociais que afetam o conforto dos passageiros estão relacionados com a interação com outros passageiros ou com a tripulação de voo. Aspectos da situação incluem atividades dos passageiros como dormir, comunicação ou trabalho, que envolvem requisitos diferentes para o ambiente da cabine.

Fatores individuais, como sexo, idade, propósito de viagens e experiências com viagens aéreas podem contribuir para a sensação de conforto. Por isso, o conforto dos passageiros é um complexo conceito que envolve uma grande variedade de fatores objetivos, percepções e sentimentos subjetivos. O ponto de vista psicológico sobre conforto poderia até ser ampliado, considerando todo o processo de transporte aéreo.

Apesar do ruído ser mencionado cada vez com menos frequência pelos passageiros como um facto de desconforto, continua a ter um peso bastante grande no conforto em geral [21] pois nível de ruído tem um impacto significativo sobre as pessoas e, adicionalmente, aumenta a consciência de outros aspetos que prejudicam o conforto, por exemplo, pés inchados, dor de cabeça, cansaço, etc. [22].

No Brasil, recentemente foi feita uma investigação para verificar a relevância dos fatores vibro-acústicos no interior de aeronaves [23]. A partir da pergunta “Quais os aspetos que você considera que sejam importantes para o conforto numa viagem de avião?”, os indivíduos fizeram mais de 180 comentários. Com os comentários foram criadas 12 categorias e a percentagem com que foram citadas [1]. Os resultados podem ser visualizados na Figura 3.3.

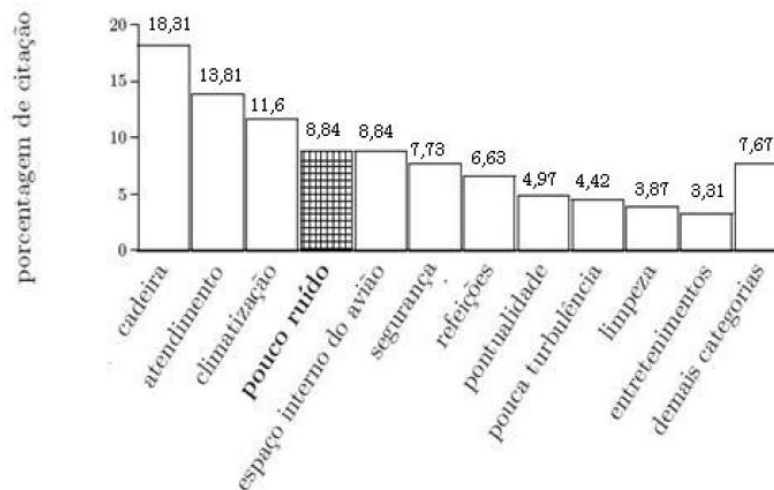


Figura 3.3. Categorias de Conforto no Interior de um Avião (adaptado de [1])

A Figura mostra, claramente, que o ruído continua a ser muito citado pelos passageiros no que se refere ao conforto no avião e, portanto, deve ser estudado e se possível eliminado

Recentemente foram feitos estudos [24], que vieram mostrar que a redução de nível de pressão de som (ruído de fundo do avião) não aumenta obrigatoriamente a satisfação, uma vez que a exclusão deste pode tornar outros sons mais audíveis (conversas de outros passageiros, choro de bebés, etc.).

Qualquer projeto que se destine a estudar a acústica na cabine deve considerar outras medidas além da redução do nível de ruído, como por exemplo alterar as características de ruído para melhorar o conforto dos passageiros e o bem-estar na cabine do avião [25].

## 3.4 Efeitos do Choro Infantil no Ser Humano

*“An infant’s cry is one of the most emotionally salient sounds in our environment”*

Katherine Young

No interior de habitáculos de naturezas diferentes (comboio, carro, avião, sala de espera, ...), por vezes, as pessoas são sujeitas a situações desconfortáveis, nas quais são obrigadas a conviver com aquilo que as rodeia. Este ambiente pode, por vezes, ser bastante desagradável pois as pessoas ficam sujeitas a fatores que não podem controlar como, por exemplo, sons incomodativos ou cheiros desagradáveis.

Foqemo-nos no choro infantil visto ser um dos maiores problemas que as companhias aéreas enfrentam neste momento tendo já, algumas das mais importantes, banido as crianças até aos 12 anos, da primeira classe dos seus aviões [26].

Recentes estudos [27] provaram que o choro infantil é um dos sons mais difíceis de ignorar para o Homem sendo, também, um dos mais irritantes. Observe-se a Figura 3.4 que mostra os resultados obtidos num teste onde foi medida a pressão aplicada por um indivíduo nas teclas de um dispositivo, imediatamente a seguir a ouvir os sons de pássaros, adultos a chorar e crianças a chorar.

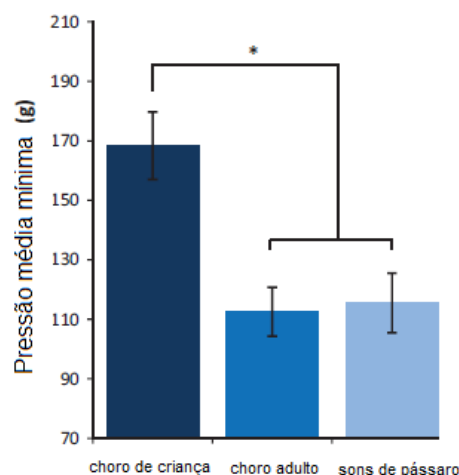


Figura 3.4. Pressão Aplicada por um Indivíduo ao Escutar Diferentes Sons (adaptado de [27])

Estes estudos vieram mostrar que, para além de difícil de ignorar, o choro, tem um grande impacto no desempenho motor dos adultos, podendo afetar a capacidade de concentração dos mesmos, uma vez que o Homem, inconscientemente, é estimulado a agir de forma a acalmar a criança, desconcentrando-se assim noutras tarefas que esteja a fazer, como trabalhar, dormir, conversar, ler, etc. [27].

### 3.5 Conclusão

Já se observou então que o ruído, independentemente do seu tipo, é o principal agente no distúrbio do conforto acústico. Ao afetar o conforto acústico, prejudica, de forma acentuada, todas as pessoas que estão expostas. Se o ruído for de alta frequência, como é o caso do choro das crianças, o desconforto causado é muito mais significativo. No contexto da aviação, onde a segurança é primordial, a eliminação do ruído acústico permitirá aos indivíduos concentrarem-se em informações relacionadas com a segurança. Se o ruído for demasiado intrusivo, ou alto, esta concentração é afetada. Portanto, o desafio para os fabricantes de aeronaves e companhias aéreas é a de criar um ambiente dentro da cabine onde o ruído acústico é mantido a um mínimo. Já existem melhorias a ser produzidas e o conceito "*low in-cabine noise*" já está a ser promovido como um recurso de conforto em aviões novos (por exemplo, A380 e Boeing 787) [28]. Uma vez que a idade média dos aviões comerciais se situa entre os 16 e os 24 anos [29], as opções disponíveis para as companhias aéreas para reduzir o ruído dentro de aeronaves mais antigas são limitadas. Uma das opções mais intuitivas e que constituiu a base da investigação apresentada neste trabalho, envolve a utilização de auscultadores de ouvido com cancelamento e filtragem de ruído durante todas as fases do voo. Para algumas companhias aéreas isso poderá exigir uma mudança radical na forma como a informação relacionada com a segurança é apresentada. Contudo, uma tal alteração não deve ser descartada pois a receptividade da mensagem de segurança por parte dos passageiros e da tripulação seria substancialmente melhorada. Recentes estudos referem a importância que os desenvolvimentos de novas alternativas na redução de ruído acústico nas cabines das aeronaves são importantes e podem revolucionar toda a forma de se viajar de avião [28].

Assim, toda a secção 3 teve como objetivo mostrar o quão importante é controlar o ruído acústico dentro da cabine de passageiros de uma aeronave e garantir assim que o desconforto acústico não é um problema para o conforto geral. A próxima secção explica como é que é possível controlar esse ruído acústico.



# Desenvolvimento de um Sistema de Filtragem Sonora

## 4.1 Recolha de Características Relevantes para o Desenvolvimento do Sistema

Antes de se dar início ao desenvolvimento do sistema de filtragem sonora, é essencial explicar certas características, nomeadamente a frequência do discurso útil, a frequência do choro das crianças, controlo ativo e passivo de ruído, microfones direcionais e filtro passa-banda.

### 4.1.1 Frequência do Discurso Útil

Todo o ar que entra e sai dos pulmões passa através das cordas vocais. Quando as cordas estão apropriadamente tensas, a passagem de ar, entre elas, faz com que vibrem, ou mais precisamente, que abram e fechem numa rápida sucessão. A frequência de vibração ou frequência fundamental está estritamente relacionada com o tom da voz. As cordas vocais masculinas tendem a ser mais longas e mais grossas do que as cordas vocais femininas levando-as a vibrar mais lentamente. Oradores masculinos de idiomas como Inglês e Alemão têm uma frequência fundamental média de 100-120 Hz. Já as cordas vocais femininas são mais curtas e mais leves o que as faz vibrar aproximadamente no dobro da frequência do sexo masculino (200-220 Hz) [30]. Na figura 4.1 é possível observar a frequência da entoação de uma frase em alemão tanto por oradores adultos do sexo masculino como do feminino.



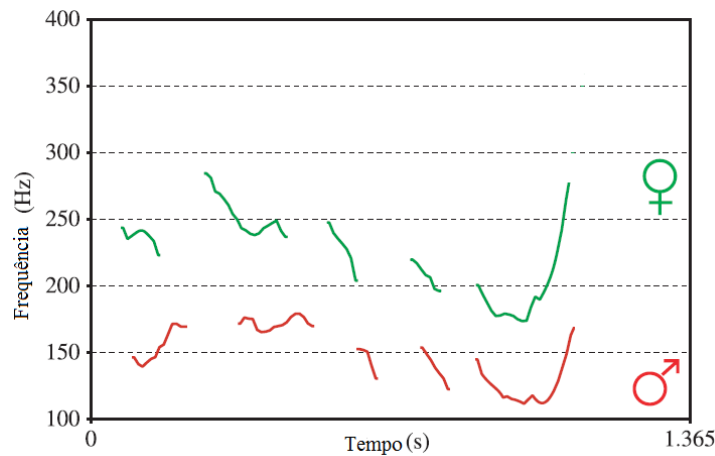


Figura 4.1. Frequência de Homens e Mulheres Adultas a Pronunciar a Pergunta “Não Sente o Cheiro do Ar Fresco?” em Alemão. (adaptado de [30])

### 4.1.2 Frequência do Choro das Crianças

Na secção 3.2 foram referidos os problemas que o choro infantil pode trazer ao Homem.

A onda de choro é gerada no sistema nervoso central. É por isso que o choro é pensado para refletir a integridade neuro-psicológica da criança e pode ser útil na deteção de problemas que ponham em risco o seu desenvolvimento [31]. Dois tipos de choro são considerados: choro normal e patológico. O choro de um bebé saudável é considerado choro normal [32]. O choro da criança está na gama mais sensível da área auditiva do Homem, ou seja, entre os 350 Hz e os 450 Hz e pode interferir com o seu bem-estar. Esta é a principal questão no desenvolvimento de sistemas de reconhecimento baseado no choro do bebé [32].

Vejamos agora os resultados obtidos numa experiência [32], que clarificam perfeitamente qual é a frequência útil do choro dos bebés (Figuras 4.2 e 4.3).

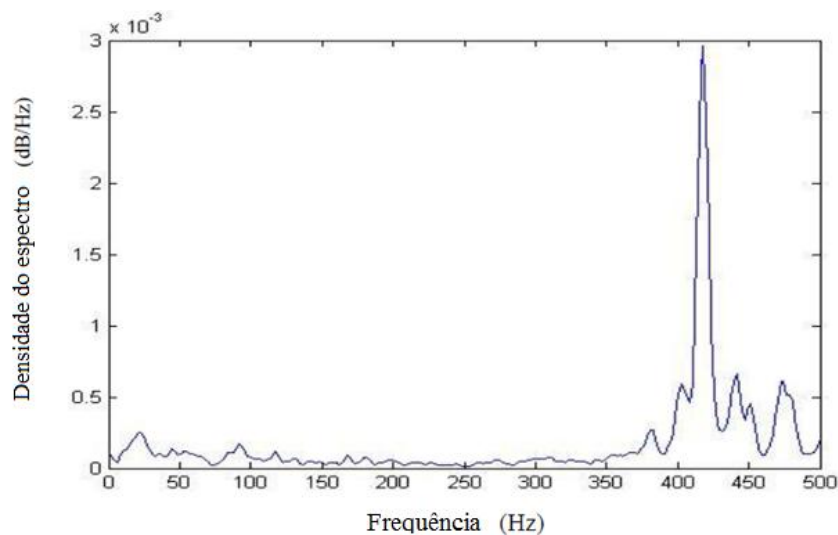


Figura 4.2. Frequência Útil do Choro do Bebê Macho (adaptado de [32])

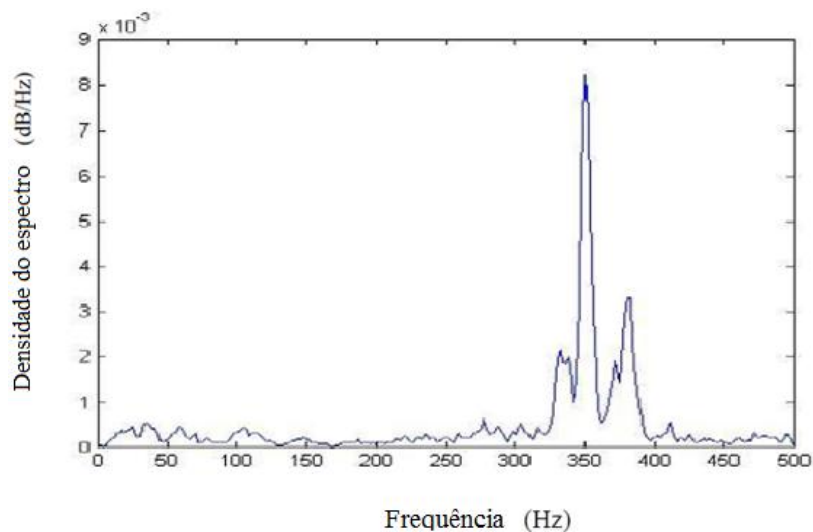


Figura 4.3. Frequência Útil do Choro do Bebê Fêmea (adaptado de [32])

Ao realizar a análise de frequência das amostras de voz, conseguem observar-se as frequências fundamentais médias. Em caso do recém-nascido pertencer ao sexo masculino, a frequência fundamental é de cerca de 420 Hz e em recém-nascidos do sexo feminino situa-se nos 370 Hz.

### 4.1.3 Controlo Ativo de Ruído.

O Controlo Ativo de Ruído (CAR) é um meio de atenuar o ruído usando o princípio da sobreposição acústica [33], [34]. A ideia geral é muito simples. O som é uma onda de pressão, que consiste numa fase de compressão e uma fase de rarefação. Um altifalante com cancelamento de ruído emite uma onda sonora com a mesma amplitude mas com fase invertida (também conhecida como anti fase) para o som original (Figura 4.4). As ondas combinam-se para formar uma nova onda, num processo denominado de interferência, e de uma forma eficaz anulam-se mutuamente num efeito que é chamado de cancelamento de fase [35].

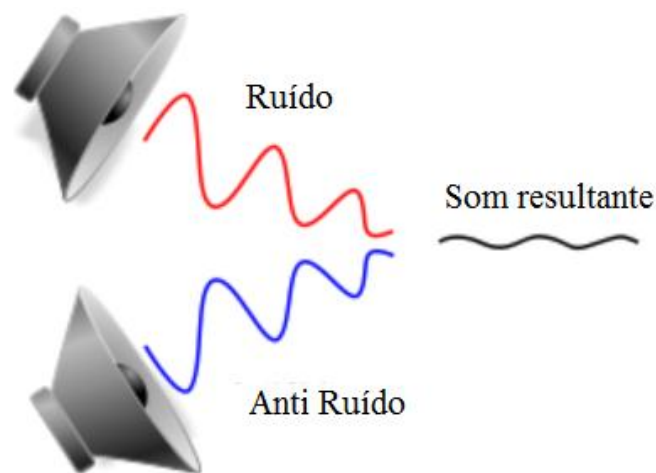


Figura 4.4. Cancelamento Ativo de Ruído (adaptado de [36])

No entanto, há muitos problemas relacionados com os fenómenos acústicos assim como limitações de controlo. Assim, o problema ainda é excitante e atrai a atenção de um número de cientistas provenientes de diferentes áreas científicas. O rápido desenvolvimento da tecnologia e uma extensa investigação para a fabricação está a permitir a projeção de sensores e atuadores para o controlo acústico.

#### 4.1.4 Controlo Passivo de Ruído.

O Controlo Passivo de Ruído (CPR) é o ruído que os auscultadores de ouvido conseguem bloquear (Figura 4.5), baseando-se no seu próprio desenho e nos seus materiais. Isto é bastante útil quando uma pessoa estiver a ouvir música ou outro som num ambiente com bastante ruído. Quando o CPR é forte, a pessoa ouve menos os ruídos ambientais indesejáveis e consegue concentrar-se mais no som desejado. Isto é bastante mais simples se compararmos com o CAR que funciona através de um circuito eletrónico alimentado para produzir cancelamento de ruído. CPR é apenas “*design*” mecânico a atuar da forma pretendida [37].

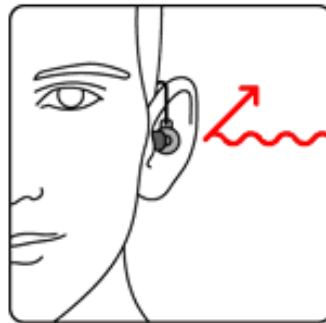


Figura 4.5. Exemplo de CPR (adaptado de [38])

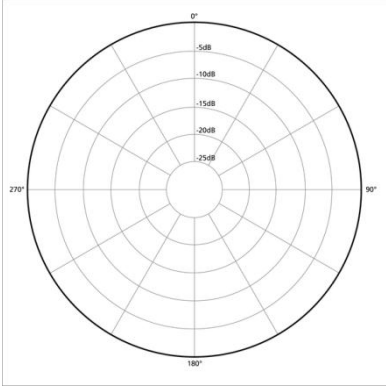
O CPR representa a única forma redução de ruído indesejável de 99 % dos auscultadores produzidos no mercado atualmente [37]. Isto acontece porque a maioria dos auscultadores de ouvido vendidos no mercado só oferece CPR. A fim de oferecer também CAR, os auscultadores de ouvido devem ser especificamente concebidos com essa tecnologia. Estes auscultadores são geralmente muito mais caros pois requerem um fabrico muito mais sofisticado, necessitando, também, de uma fonte de bateria para poder produzir o CAR.

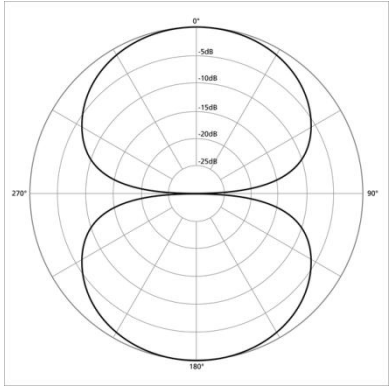
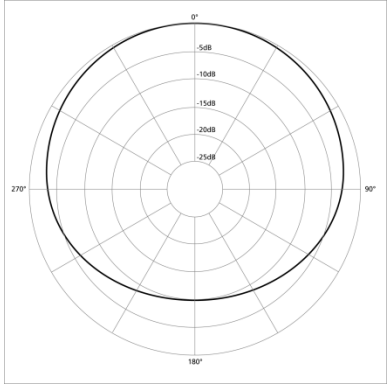
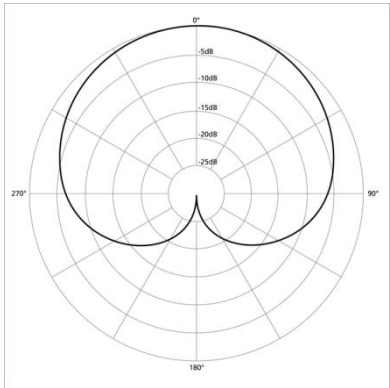
Então, pode-se afirmar que auscultadores munidos de CPR e CAR não se enquadram na mesma gama. Os auscultadores com CPR são muito mais comuns e menos sofisticados, enquanto os auscultadores munidos de CAR são mais raros e difíceis de produzir.

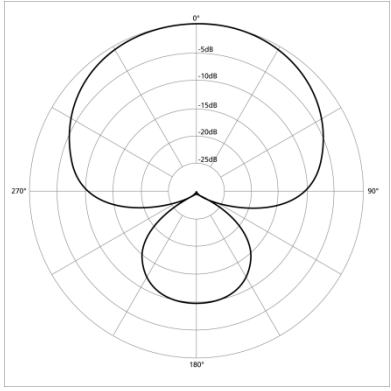
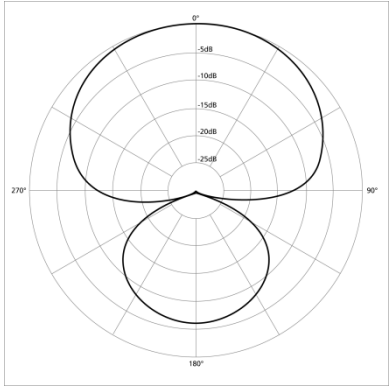
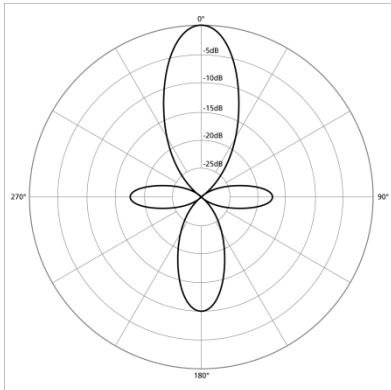
### 4.1.5 Microfones Direcionais

Nas últimas décadas, o mundo do áudio tem vindo a registar uma forte evolução a todos os níveis mas um dos campos que mais se desenvolveu foi o campo dos microfones [39]. Um microfone converte vibrações mecânicas na gama audível num sinal elétrico. Na maioria dos microfones as ondas sonoras são convertidas em vibrações mecânicas através de um diafragma fino e flexível e em seguida convertidas em sinal elétrico através de uma bobina móvel ou por carga e descarga de um condensador [40]. No caso de microfones de condensador estes necessitam de uma tensão de alimentação contínua, chamada de “*phantom power*”, que é de facto uma tensão de polarização. Existem vários tipos de microfones e existem as mais variadas aplicações para eles, e, por isso, é necessário focar os principais e as suas funções (Tabela 4.1).

Tabela 4.1. Tipos e Especificações de Microfones.

Tipo de microfone	Descrição	Diagrama direcional
Omnidirecional	Captam o som da fonte não importando a direção em que este chega à sua cápsula.	

Tipo de microfone	Descrição	Diagrama direcional
Bidirecional	Captam o som igualmente no eixo da cápsula ( $0^\circ$ e $180^\circ$ ), rejeitando o som que chega a $90^\circ$ e a $270^\circ$ .	 <p>Diagrama direcional bidirecional. O gráfico mostra um padrão de captação em forma de oito, com os lóbulos principais alinhados ao eixo horizontal (<math>0^\circ</math> e <math>180^\circ</math>). O eixo vertical (<math>90^\circ</math> e <math>270^\circ</math>) representa a rejeição do som. As escalas de dB (5dB, 10dB, 15dB, 20dB, 25dB) são indicadas radialmente.</p>
Sub cardioide	Captam com maior eficácia os sons emitidos na sua frente. À medida que a fonte sonora se desloca do eixo central do microfone a sua captação é reduzida. Desta forma, sons vindos de trás não são captados ou são captados com pequena intensidade.	 <p>Diagrama direcional sub cardioide. O gráfico mostra um padrão de captação que é mais amplo na frente (<math>0^\circ</math>) e mais estreito na traseira (<math>180^\circ</math>), com uma pequena rejeição no eixo vertical. As escalas de dB (5dB, 10dB, 15dB, 20dB, 25dB) são indicadas radialmente.</p>
Cardioide	Captam com maior eficácia os sons emitidos na sua frente. À medida que a fonte sonora se desloca do eixo central do microfone, sua captação é reduzida. Nos cardioides, o som que chega da direção dos $180^\circ$ , não é, de todo, captado.	 <p>Diagrama direcional cardioide. O gráfico mostra um padrão de captação que é muito mais direcional, com o lóbulo principal na frente (<math>0^\circ</math>) e uma rejeição quase total na traseira (<math>180^\circ</math>). As escalas de dB (5dB, 10dB, 15dB, 20dB, 25dB) são indicadas radialmente.</p>

Tipo de microfone	Descrição	Diagrama direcional
Híper cardioide	Captam além dos sons emitidos na sua frente, parte dos sons emitidos na parte de trás. Isto é bastante útil para aumentar o ganho do som, sem que haja microfonia.	
Super cardioide	Captam além dos sons emitidos na sua frente, parte dos sons emitidos na parte de trás. Isto é bastante útil para aumentar o ganho do som, sem que haja microfonia.	
“Shotgun”	Microfones “shotgun” são os mais direcionais. Possuem pequenos lóbulos da sensibilidade à esquerda, à direita, e de trás, mas são significativamente menos sensíveis para o lado de trás do que os outros microfones direcionais.	

### 4.1.6 Filtro Passa-banda.

Um filtro passa-banda é um dispositivo que permite a passagem das frequências de uma certa faixa e rejeita ou atenua as frequências fora dessa faixa. Um exemplo de um filtro passa-banda analógico é o circuito RLC. Estes filtros também podem ser obtidos através da combinação entre um filtro passa-baixo e um filtro passa-alto [41].

As especificações normais de um filtro passa-banda  $H(s)$ , conforme mostrado na Figura 4.6, são as frequências de corte  $\omega_1$  e  $\omega_2$ , o valor máximo da grandeza na faixa de passagem entre as frequências de corte, a atenuação máxima nesta banda passante ou a magnitude mínima das frequências de corte  $\omega_1$  e  $\omega_2$  e uma frequência  $\omega_s$  ( $= \omega_3$  ou  $\omega_4$ ) na faixa de rejeição em que a atenuação mínima ou a magnitude máxima são especificadas [42].

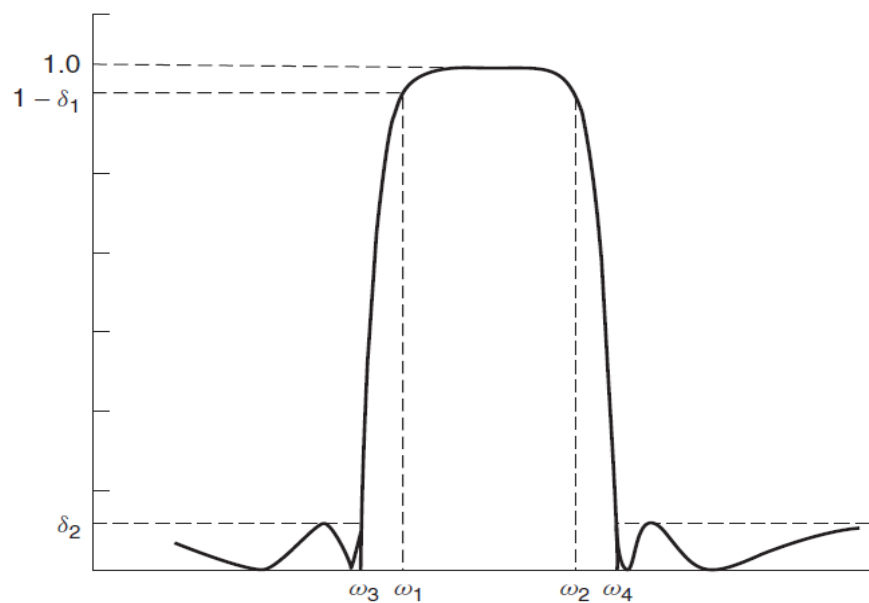


Figura 4.6. Especificações Típicas de Filtros Passa-banda. (adaptado de [42])



## 4.2 Aplicação da Análise Substância-Campo na Conceção do Sistema de Filtragem

Revendo a secção 3, é possível verificar que o ruído exterior, dentro da cabine de um avião, interfere, diretamente, com o conforto da pessoa que está a viajar, tornando-se, importante, controlá-lo de forma a produzir o menor desconforto possível. Utilizando a análise Substância-Campo, far-se-á uma análise detalhada de forma a encontrar as possíveis soluções para este problema.

### 4.2.1 Criação de Um Campo F

Identificando o ruído indesejável como a substância  $S_1$  e o conforto acústico como a substância  $S_2$ , torna-se fácil produzir um modelo Substância-Campo incompleto, tornando o sistema num sistema incompleto (Figura 4.7).



Figura 4.7. Sistema Incompleto

No capítulo anterior, constatou-se que as 76 Soluções-Padrão podem ser condensadas e generalizadas em 7 Soluções Gerais e que a primeira solução geral será a que se deve aplicar neste caso uma vez que é um sistema incompleto, ou seja, deve introduzir-se um campo  $F$  que permita completar este modelo (Figura 4.8).



Figura 4.8. Sistema Completo.

Este campo F tem que ser um sistema que permita a ligação entre o ruído indesejável ( $S_1$ ) e o conforto acústico ( $S_2$ ) pelo que F tende a ser um mecanismo de controlo de ruído indesejável.

Um possível campo F pode passar por uns auscultadores munidos de CPR (Capítulo 4.1.4) que permite, à pessoa, deixar de ouvir tudo o que a rodeia. Desta forma, todos os barulhos indesejáveis, como o choro de uma criança, o barulho do avião, a conversa maçadora de outro passageiro, etc. seriam eliminados, mas infelizmente está-se perante um sistema completo prejudicial, pois ao eliminar-se o ruído exterior indesejável, também se está a eliminar todo o ruído exterior desejável, como a comunicação com o companheiro ao lado ou com a tripulação.

### 4.2.2 Introdução de Outro Campo $F'$

No subcapítulo anterior concluiu-se que o campo F introduzido era prejudicial pois impossibilitava o passageiro de escutar, também, aquilo que queria ouvir.

Utilizando a solução geral 5, procede-se à introdução de um novo campo  $F'$  que neutralize esse impacto negativo (Figura 4.9).

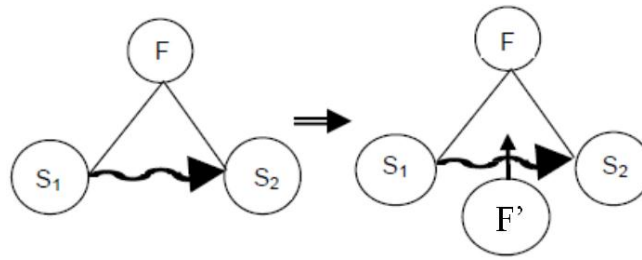


Figura 4.9. Introdução de um Novo Campo F'

O novo campo introduzido pode ser materializado através de um sistema, ligado ao campo F (Auscultadores munidos de CPR), capaz de identificar os ruídos exteriores, possibilitando, assim, a escolha daqueles que se pretende ouvir e a eliminação dos restantes.

Para se criar um sistema realmente eficiente, é necessário distinguir os ruídos indesejáveis de forma a saber, especificamente, o que é que se tem de eliminar de forma a melhorar o campo. Assim, divide-se S1 em S1,x onde x representa diversos ruídos indesejáveis específicos, como seja:

- S1,1 – Ruído de fundo do próprio Avião.
- S1,2 – Ruídos indesejáveis produzidos por outros passageiros (comunicação, comida, ressonar, etc.).
- S1,3 – Choro de uma criança alheia (este ruído não se enquadra na S1,2 pois possui características sonoras muito distintas).

Só neutralizando as substâncias S1,x se pode chegar a S2. Para tal fim necessita-se dos campos F e F'. Fica-se, então, com um modelo Substância-Campo mais detalhado (Figura 4.10).

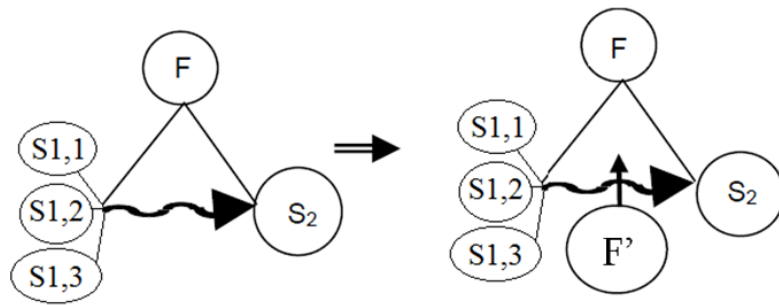


Figura 4.10. Modelo Substância-Campo Detalhado

Este campo  $F'$ , pode ser um sistema eletrônico, controlável pelo utilizador, capaz de reconhecer os ruídos exteriores através de microfones direcionais instalados (Figura 4.11), fazendo assim com que tudo o que o passageiro ouvisse, vindo do exterior, tivesse que passar primeiro pelo microfone, ou seja, pelo sistema.

Figura 4.11. Campo  $F'$ 

Procede-se, agora, à eliminação, das substâncias  $S1$ , por partes, de forma a otimizar a produção do campo  $F'$ . Considera-se, inicialmente, que o campo  $F'$  tem que atuar de forma a eliminar, apenas, a substância  $S1,1$ .

$S1,1$  representa o ruído de fundo do avião, ou seja, um ruído cuja sua própria onda sonora é constante [43], tornando-se assim, um ruído facilmente eliminável através de CAR (Secção 4.1.3). O sistema capta essa onda sonora constante e emite uma contra onda de forma a anular a

primeira. Note-se que este sistema não é automático, ou seja, a pessoa é livre de o ligar ou não porque, como já foi dito na Secção 3.1, existem clientes que não desejam anular o tal ruído de fundo pois este ajuda a relaxar.

Resumindo, neste momento, o sistema é constituído por um par de auscultadores munidos de CPR, que não deixa ouvir nada, e por um dispositivo eletrónico munido de microfone, que, para já, deixa “passar” todo o ruído exterior, exceto o ruído de fundo do avião (S1,1). Já se neutralizou uma das substâncias prejudiciais o que significa que se está mais perto da solução final (Figura 4.12).

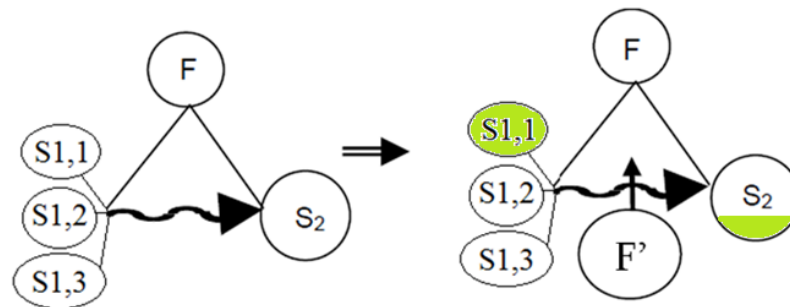


Figura 4.12. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância S1,1)

### 4.2.3 Alteração do Campo F'

Através da Figura 4.12, é possível entender que o campo F' precisa de ser alterado, uma vez que, ainda só consegue neutralizar uma das três substâncias prejudiciais. Modifica-se, então, F' para F'', ou seja utiliza-se a solução geral 4 das 7 soluções gerais da análise substância campo. Este novo campo terá que ter as competências que o anterior tinha e ainda conseguir anular a seguinte substância prejudicial que serão os ruídos indesejáveis produzidos por outros passageiros (S1,2).

Esta é, provavelmente, a substância mais prejudicial e a mais difícil de eliminar. Para tal é necessário um sistema complexo, constituído por microfones direcionais, (Capítulo 4.1.5) que permita a seleção da área que se quer ouvir.

Estes microfones têm que pertencer a uma gama muito específica que consiga ser o mais direcional possível de forma a conseguir captar, apenas, os sons provenientes da pessoa para a qual está apontado. Consultando a Secção 4.1.5, sobre microfones direcionais, é possível concluir que o único tipo de diagrama direcional que se pode aplicar é o referente ao microfone “*shotgun*” (Figura 4.13).

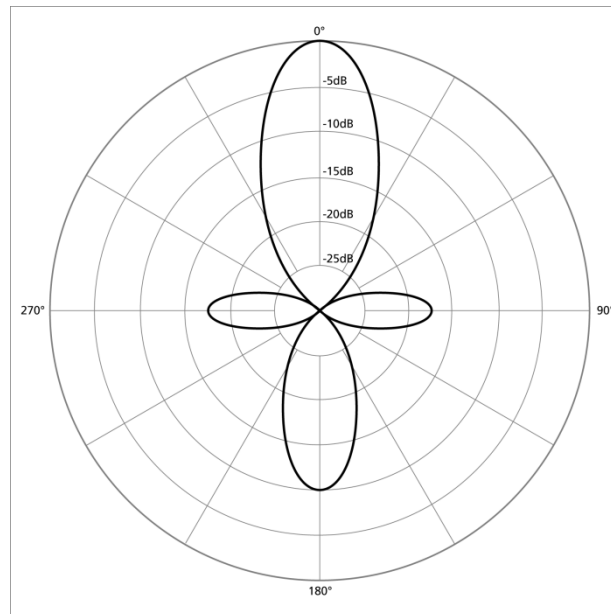


Figura 4.13. Diagrama Direcional do Microfone "*Shotgun*"

O posicionamento do microfone direcional “*shotgun*” tem que ser calibrado pois o seu direcionamento é de tal forma sensível que se for posicionado exatamente na horizontal, como representado na Figura 4.14, ele irá captar os sons provenientes tanto do passageiro que se pretende escutar como dos passageiros atrás e à frente.

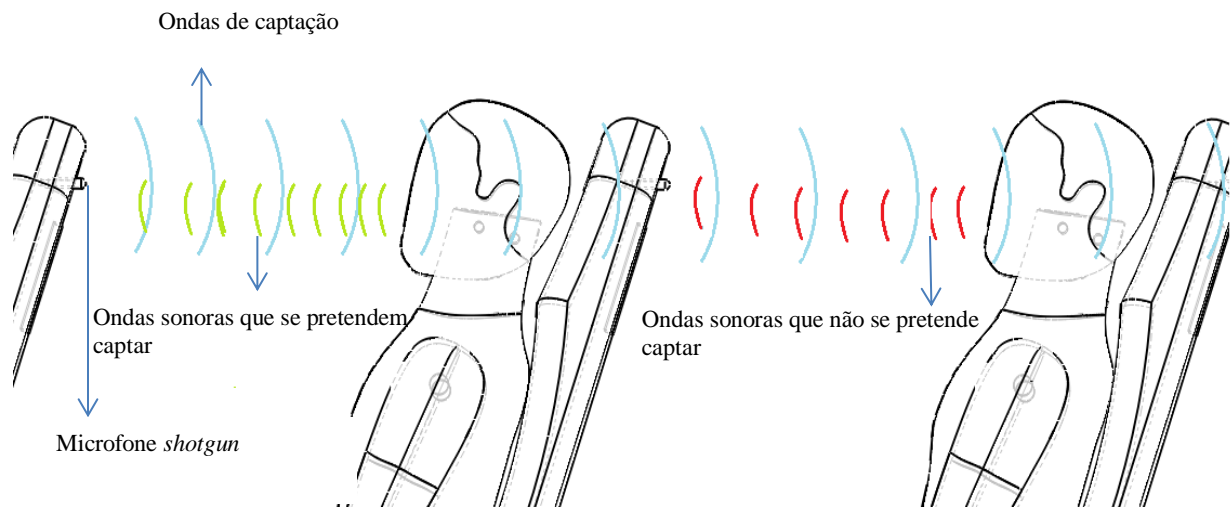


Figura 4.14. Alcance da Captação do Microfone “Shotgun”

Uma forma de anular este problema passa por reposicionar o microfone de forma a que não capte os sons provenientes nem de trás nem de frente. Se for posicionado no meio da cadeira em frente, e apontado à cabeça, mais ou menos, num ângulo de 45°, consegue reduzir-se, substancialmente, a possibilidade de captar ruídos indesejados provenientes de outros passageiros [44] pois fica apontado para o topo da aeronave que não é nenhuma fonte sonora. A Figura 4.15 ilustra um possível reposicionamento do microfone “Shotgun”.

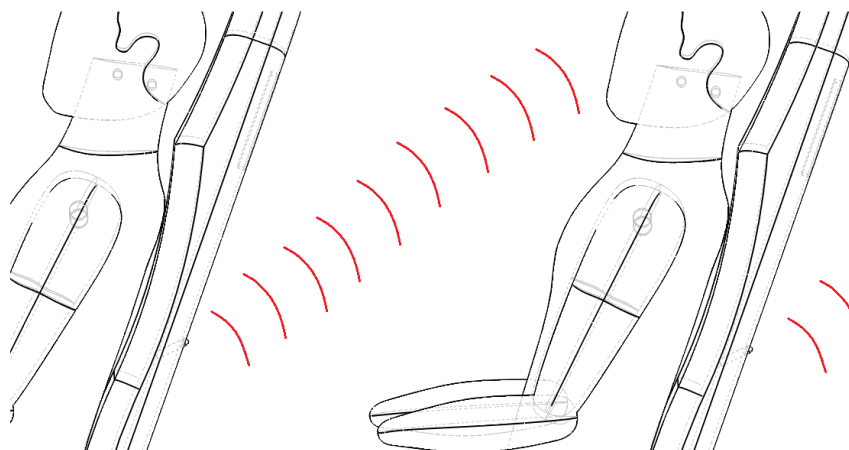


Figura 4.15. Reposicionamento do Microfone “Shotgun” de Forma a Não se Captar Ruídos Indesejáveis

Cada passageiro, terá à sua frente um microfone direcional capaz de captar apenas a sua própria voz e os próprios ruídos. Na Figura 4.16 parte-se do princípio que o utilizador se encontra sentado no assento do meio (representado sem cor), o sistema consiste na seleção de qual microfone que se pretende escutar tornando, assim, possível ouvir o que o companheiro a verde, do lado esquerdo, nos quer dizer e, ao mesmo tempo, ter uma pessoa a ressonar (passageiros vermelhos), à frente ou ao lado, sem a escutar pois foi selecionado apenas o microfone do lado esquerdo.

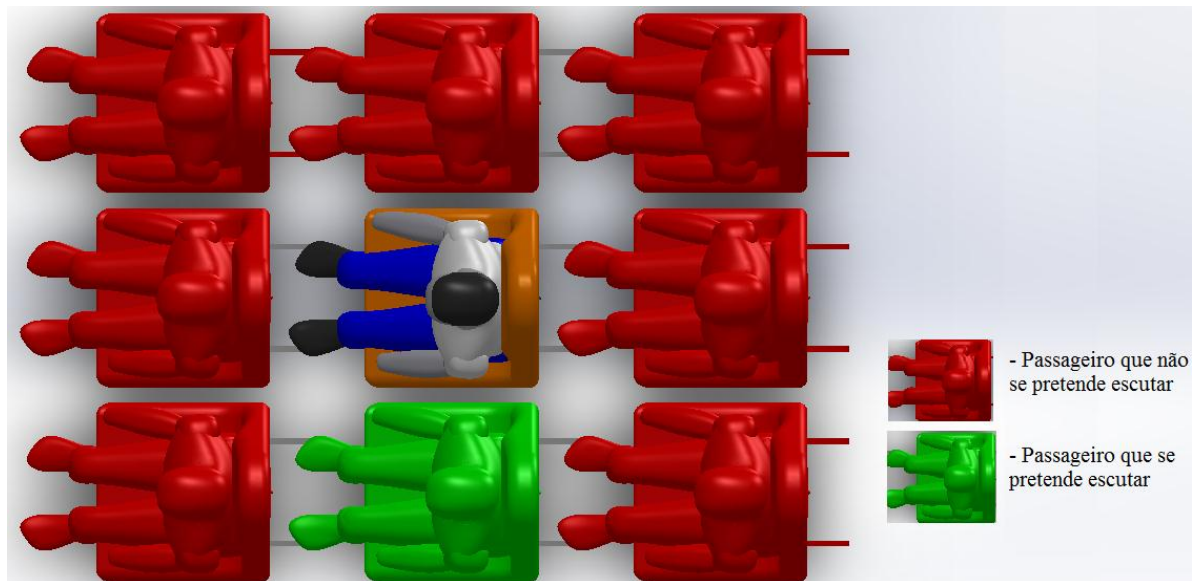


Figura 4.16. Seleção de Passageiro que se Pretende Escutar

Para se ter um diálogo, será necessário introduzir o número do microfone que se quer ouvir e que o outro interveniente “diga” ao seu sistema que quer escutar o nosso microfone (Figura 4.17).



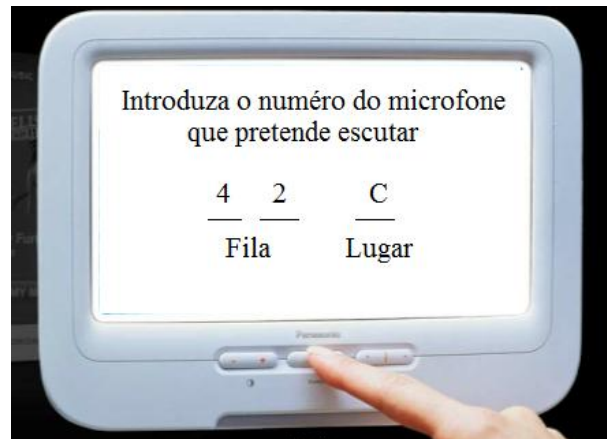


Figura 4.17. Seleção de Microfone que se Pretende Escutar.

Uma vez selecionado o microfone, uma mensagem aparece no ecrã do outro interveniente a perguntar se pretende aceitar o convite para uma conversa áudio (Figura 4.18). Tal facto elimina a possibilidade de se estar a ser escutado sem o consentimento de ambas as partes, e ter a certeza que, assim, ninguém escuta conversas alheias.

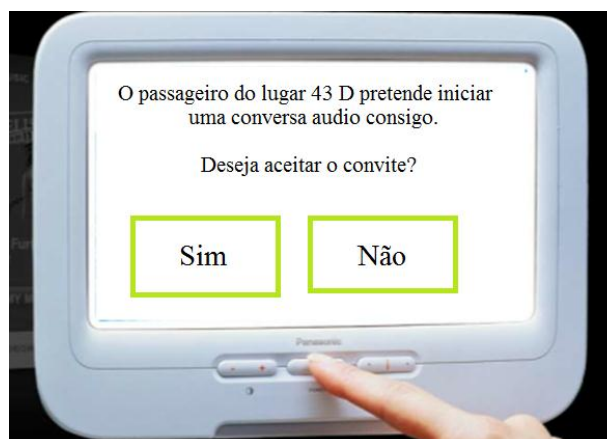


Figura 4.18. Confirmação de Iniciação de Conversa Áudio

Resumindo, a substância prejudicial S1,2 neutraliza-se com o sistema dos microfones direcionais (Figura 4.19), ficando-se assim, cada vez mais perto do objetivo final que é o melhoramento do conforto acústico dentro do interior de um avião representado pela substância S2.

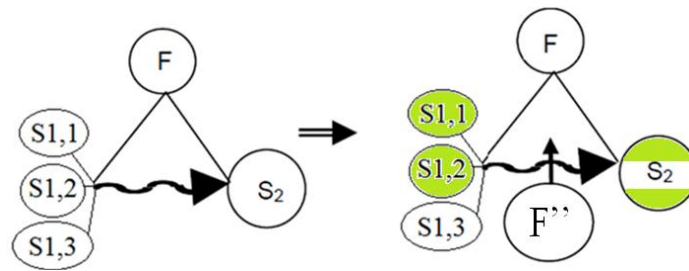


Figura 4.19. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância S1,2)

#### 4.2.4 Alteração do Campo F''

Uma vez mais, constata-se que o campo F'' ainda não é suficiente, sendo necessário aplicar, novamente a solução geral 4, das 7 soluções gerais, da análise substância campo para se alterar o campo F'' para F'''. A última substância prejudicial que falta eliminar é a substância S1,3, que representa o choro de bebês. No Capítulo 3.2 já foi referido que este é um dos grandes problemas que as companhias aéreas enfrentam nos dias de hoje, sendo necessária a sua neutralização para um bom conforto acústico.

Devido à intensidade e à frequência do choro de bebê, a solução anterior não se aplica, pois os microfones, por mais direcionais que sejam, iriam captar, também, qualquer choro de uma criança que se encontrasse por perto.

Observando os capítulos 4.1.1 e 4.1.2 é possível concluir que o som do choro de bebê e o som do discurso útil das pessoas se encontram em frequências muito diferentes (Figura 4.20), criando, assim, algumas formas de os separar, ficando possível neutralizar o indesejável.

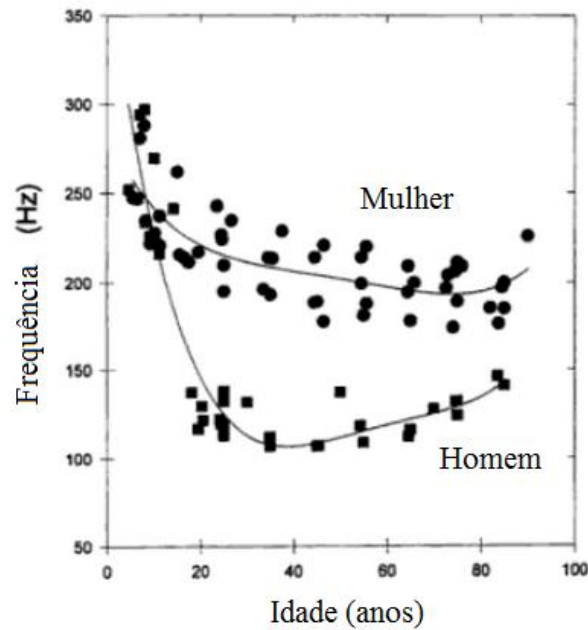


Figura 4.20. Frequência do Discurso Útil em Função da Idade (adaptado de [45])

Uma vez separadas as frequências, é necessário um mecanismo que neutralize as indesejáveis e que deixe “passar” as desejáveis. Atentando no Capítulo 4.1.6, fica-se a par de uma tecnologia sonora que, basicamente, reconhece as frequências e neutraliza todas as que não se encontrem na gama selecionada.

Como já se sabe, a gama de frequências do discurso útil encontra-se entre os 100 Hz – 120 Hz para os homens e os 200 Hz – 220 Hz para as mulheres [30], enquanto o choro dos bebés se encontra dos 350 Hz para cima [32].

O novo campo  $F'''$  será, portanto, a inserção de um filtro Passa-banda no sistema anterior ( $F''$ ) que consiga neutralizar as frequências indesejáveis. Como se pode observar na Figura 4.21, o filtro terá que ter os parâmetros do discurso útil das pessoas, ou seja,  $\omega_1$  e  $\omega_2$  serão 100 e 220 Hz, respetivamente, pois 100 Hz é a frequência mínima para os homens e 220 Hz, a máxima, para as mulheres, filtrando, assim, todas as frequências, sensivelmente, que se encontrem acima dos 240 Hz, ou seja, a dos bebés.

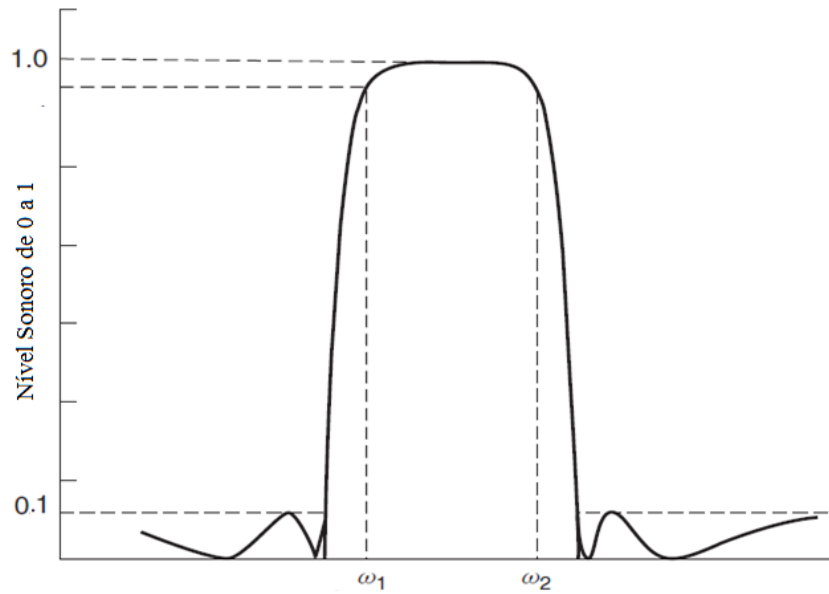


Figura 4.21. Filtro Passa-banda Utilizado no Sistema em Estudo (adaptado de [42])

Observando, agora, a Figura 4.22, é possível constatar que todas as Substâncias prejudiciais ( $S_{1,1}$ ;  $S_{1,2}$ ;  $S_{1,3}$ ) foram neutralizadas, melhorando, assim, a Substância 2, que representa o conforto acústico no Avião.

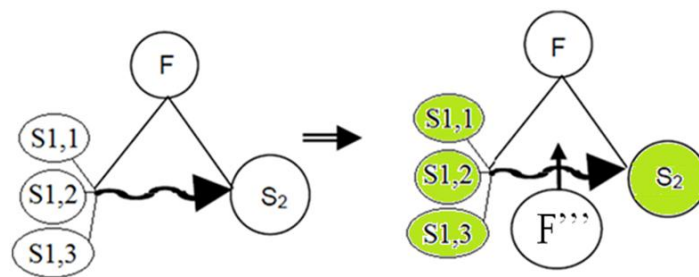


Figura 4.22. Modelo Substância-Campo (Neutralização da Substância  $S_{1,3}$ )



## Discussão dos Resultados

Uma vez neutralizadas todas as substâncias prejudiciais, é possível fazer uma pequena descrição da solução encontrada.

Ao analisar, com a metodologia TRIZ, a problemática, referida no capítulo 3, concluiu-se que a melhor forma de neutralizar todos os ruídos indesejáveis começava por isolar o ouvido de qualquer ruído, tanto o desejado como o prejudicial. Este isolamento torna-se possível quando se utiliza auscultadores munidos de CPR. Os auscultadores que melhor desempenham este sistema são do tipo “*in-ear*” como se pode observar na Figura 5.1. São capazes de isolar, totalmente, até sons de 44 db [46].



Figura 5.1. Auscultadores do Tipo “*In-Ear*”

Estando o ouvido, totalmente, isolado, torna-se necessário captar os sons de outra forma. Para tal, utiliza-se um microfone que estará inserido no banco da frente, como mostra a Figura 5.2. O microfone que se adaptará às necessidades requeridas será do tipo “*shotgun*”, para que capte, exclusivamente, a pessoa para o qual está direcionado e não as pessoas que estão sentadas ao lado. Será posicionado com ângulo de forma a não captar as pessoas que estão atrás e à frente.

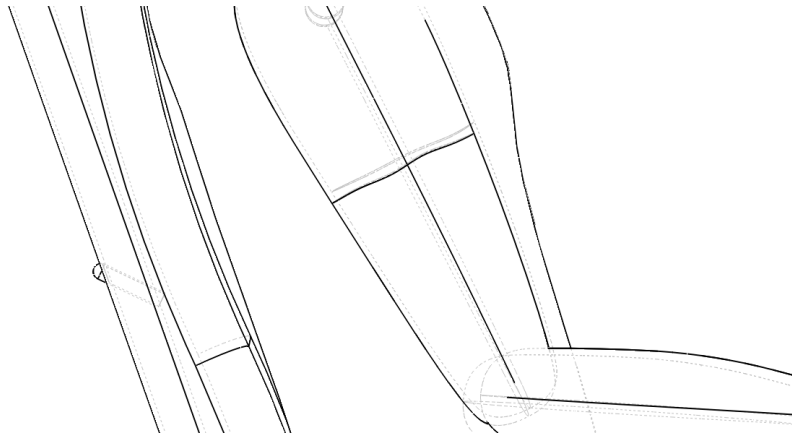


Figura 5.2. Microfone Direcional “Shotgun”

Agora que se tem todo o som captado, torna-se necessário filtrar o ruído indesejável (maioritariamente ruído de avião e choro de criança) de forma a que se escute, apenas, aquilo que se quer. Note-se que todo o outro ruído indesejável, maioritariamente, produzido pelos outros passageiros não é captado devido à direcionabilidade do microfone. A solução consiste num sistema, munido de filtros que permitam identificar que sons estão a ser captados e neutralizá-los.

O ruído de fundo de avião é um ruído constante e, portanto, aplica-se um filtro CAR que, basicamente, emite uma onda sonora igual à do ruído de fundo, mas desfasada, anulando-se, assim, uma à outra.

O ruído do choro infantil é aqui referido porque possui uma amplitude bastante elevada e a direcionabilidade do microfone “shotgun” não chega para neutralizá-lo, ou seja, se uma criança estiver a chorar por perto, as ondas sonoras serão demasiado fortes para não ser captadas, por mais direcional que seja o microfone. Assim sendo, aplica-se um filtro passa-banda que neutraliza as frequências pretendidas. Mais precisamente e como o nome indica, seleciona-se uma faixa de frequências que se pretende escutar e anula-se as restantes. Como o choro infantil se encontra a frequências muito mais elevadas do que o discurso humano, torna-se possível neutralizá-las sem neutralizar o discurso da pessoa visada.

Estando, já, todos os ruídos filtrados, falta emitir, o ruído desejado para os auscultadores pretendidos. Para esse efeito, o sistema contará com um interface inserido no computador individual de bordo onde será possível, aos passageiros, selecionar o destinatário pretendido.

Na Figura 5.3, observa-se um esquema simplificado de funcionamento deste sistema.

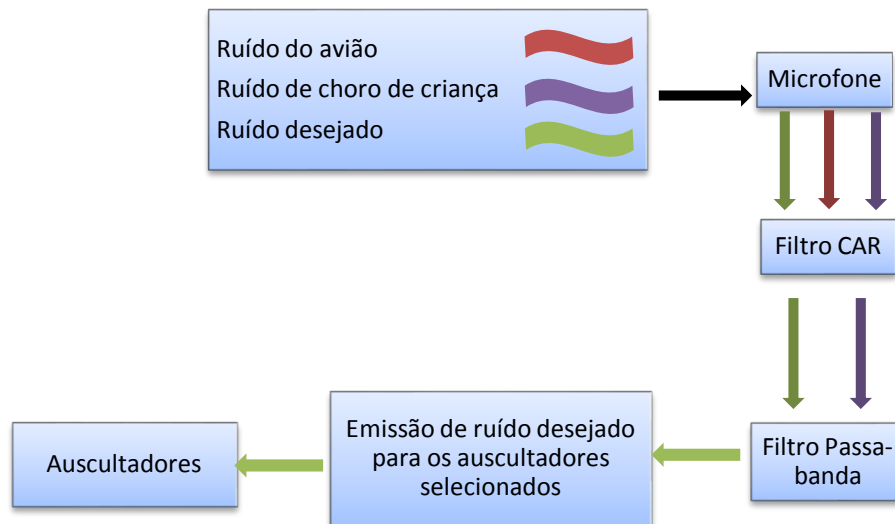


Figura 5.3. Fluxograma do Sistema em Estudo

Torna-se, então, possível um tipo de conforto acústico inovador nas cabines das aeronaves. Ao implementar-se este sistema, consegue-se ouvir, apenas, o que se deseja.

Na Figura 5.4 é possível observar um esquema completo do sistema proposto.



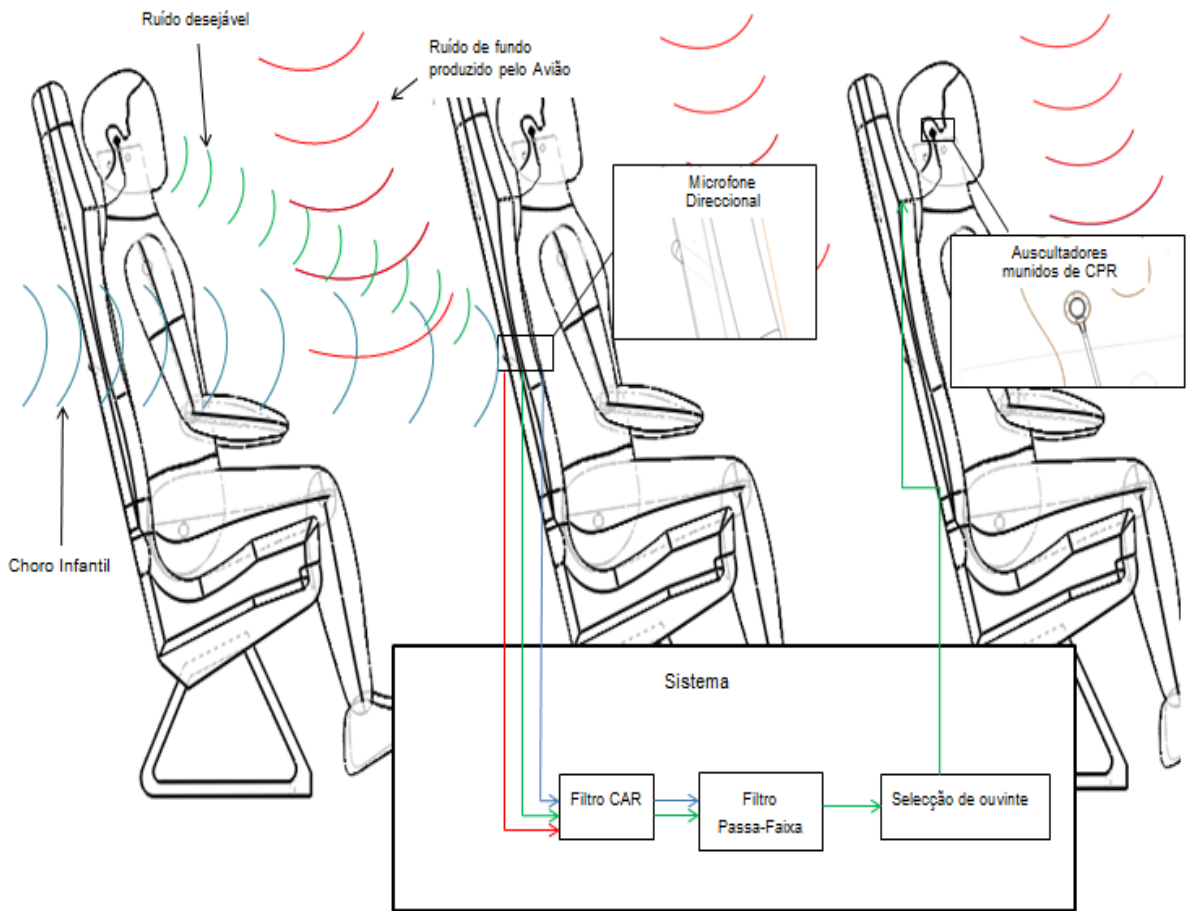


Figura 5.4. Esquema Simplificado do Sistema em Estudo

## 5.1 Descoberta de Novas Possibilidades Proporcionadas pela Análise Substância-Campo

Com a metodologia utilizada e com a solução encontrada, novas possibilidades, com bastante potencial, foram descobertas e, obviamente, devem ser exploradas.

Uma delas é o diálogo entre passageiros que não estão próximos entre eles, ou seja, sentados em lugares distantes. Devido ao sistema de microfones direcionais, explicado no capítulo 4.1.5, torna-se possível conversar com uma pessoa que não esteja logo ao lado, filtrando, na mesma, todos os ruídos prejudiciais que rodeiam ambos os passageiros. Na Figura 5.5 é possível observar um exemplo disso mesmo. O passageiro (verde) pretende dialogar com outro

passageiro (azul) que não está ao lado. Todos os outros passageiros (brancos) representam fontes de ruído indesejáveis.

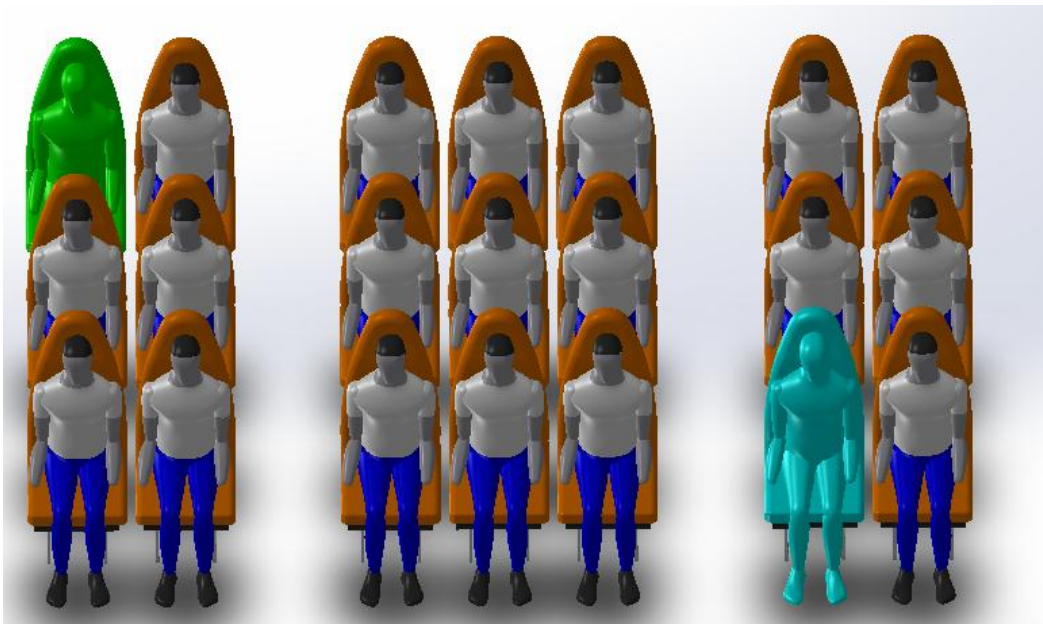


Figura 5.5. Diálogo entre o Passageiro Verde e o Passageiro Azul

Esta nova possibilidade será bastante útil, uma vez que o cenário de “*Overbooking*” é cada vez mais frequente nas companhias aéreas, fazendo com que muitos passageiros que, supostamente, viajavam juntos, se tenham que sentar separados, muitas vezes em pontas diferentes do avião. Em viagens de longa distância, fica aplicável a possibilidade de reuniões “*onboard*” muitas vezes impossíveis devido ao facto dos intervenientes não se poderem sentar juntos. Também se aplicará a grupos de turismo, como por exemplo, viagens programadas para várias pessoas que se têm que sentar, obrigatoriamente, longe umas das outras.

Outra nova possibilidade que se abre é o diálogo com múltiplos intervenientes. Imagine-se um grupo constituído por várias pessoas que pretendem conversar entre si e que não estão sentadas perto o suficiente para comunicar normalmente. Na Figura 5.6, as pessoas (verdes) são um exemplo de um grupo que pretende, por exemplo, discutir, em conjunto, as férias que têm pela frente e que nunca o fariam se o sistema implementado não existisse.

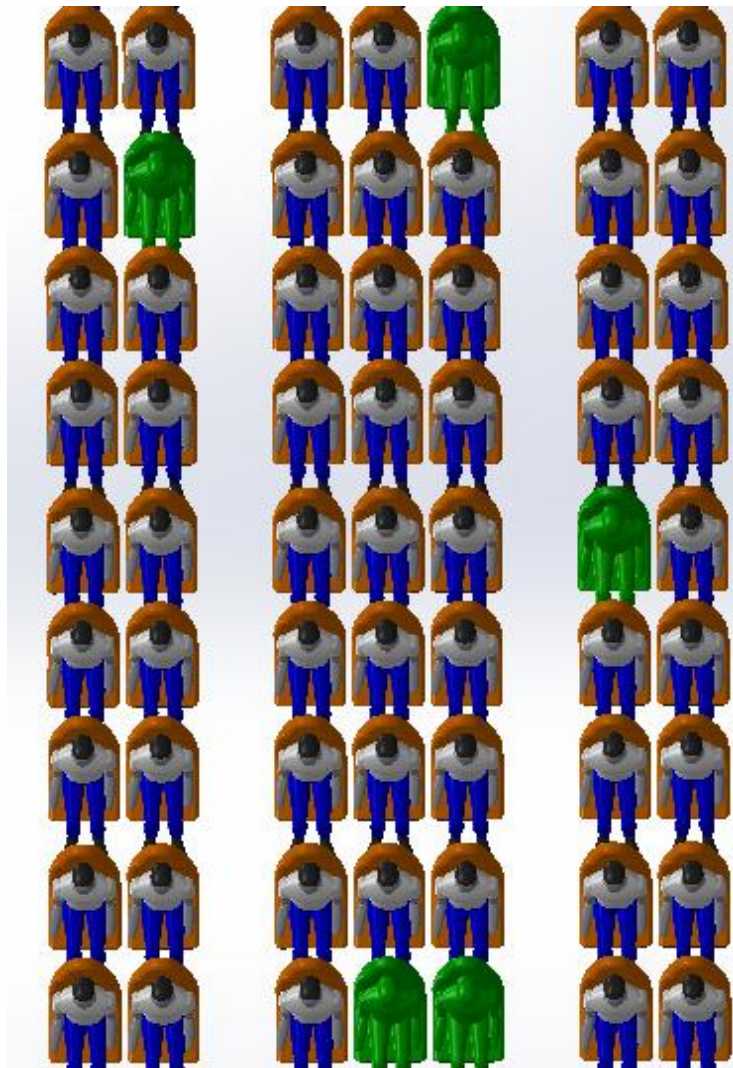


Figura 5.6. Diálogo entre Várias Pessoas (As Pessoas Verdes)

## Conclusões e Propostas para Desenvolvimentos Futuros

O aumento significativo da concorrência no setor de transportes aéreos de passageiros está a obrigar as companhias de navegação aérea a intensificarem a busca de novas formas e conceitos de satisfação dos clientes. A solução dos problemas de ruído pode contribuir significativamente para o conforto do passageiro e, conseqüentemente, para o seu bem-estar durante voo.

O passageiro, no interior da cabine, está sujeito às diferentes ondas sonoras que o rodeiam, sendo algumas delas incomodativas ou até prejudiciais para a saúde, podendo interferir na qualidade da comunicação entre os elementos.

O estudo desenvolvido no âmbito da dissertação centrou-se na resolução de problemas relacionados com conforto acústico no interior da cabine de aeronaves comerciais. Foi concebido um sistema de filtragem acústica que permite a seleção de fontes sonoras. O sistema é constituído por auscultadores, microfones, e filtros. Os auscultadores possuem Controlo Passivo de Ruído que isola o ouvido até 44 db. Os microfones utilizados na solução proposta são microfones direcionais “*shotgun*”, que captam apenas os ruídos de uma zona selecionada. O som captado na zona selecionada é sujeito ao Controlo Ativo de Ruído para anular o ruído de fundo do avião, e passa, posteriormente, pelo filtro passa-banda com o objetivo de eliminar o ruído Acústico do choro infantil que, pela sua natureza e características, continua a ser captado no campo acústico selecionado.

A inovação introduzida visa a possibilidade de selecionar as fontes sonoras que o passageiro pretende escutar, permitindo, assim, uma comunicação sem interferências indesejadas. Os sistemas atualmente existentes só permitem o isolamento do ruído acústico.

Tratando-se de um projeto inovador, foram utilizadas algumas ferramentas analíticas da Teoria da Resolução Inventiva de Problemas (TRIZ), sendo esta uma metodologia especialmente apropriada para projetos que necessitam soluções mais criativas. A Análise Substância-Campo revelou-se muito importante não só na análise da problemática e na geração de soluções, como também na revelação de novas potencialidades não imaginadas antes da sua aplicação, como por exemplo o

diálogo entre duas pessoas que não estão sentadas uma ao lado da outra ou o diálogo entre vários intervenientes.

A implementação do sistema concebido neste estudo poderá contribuir significativamente para a melhoria do conforto acústico, permitindo assim às companhias aéreas garantir aos seus clientes a certeza de um voo livre de fontes sonoras indesejáveis.

A eliminação de ruídos irá proporcionar uma redução do “*stress*” e cansaço psicológico do passageiro, aumentando a sua satisfação e, conseqüentemente, melhorando o local de trabalho da tripulação.

O choro infantil constitui um problema de desconforto sonoro de tal forma grave que neste momento algumas companhias aéreas estão a organizar voos onde crianças com idade até aos 12 anos, não são permitidas. Esta medida tem gerado controvérsia mas tem tido uma adesão significativa por parte de pessoas que viajam frequentemente. Com a implementação do sistema desenvolvido na dissertação, o problema do choro infantil fica resolvido sem se recorrer a medidas restritivas no acesso aos voos.

## 6.1 Propostas para Desenvolvidos Futuros

Embora esta dissertação tenha abordado as questões propostas, existe trabalho adicional para futura investigação.

Algumas dessas possíveis pesquisas encontram-se descritas nas secções seguintes.

### 6.1.1 Estudo de Mercado

A continuação desta dissertação fará muito mais sentido se houver procura da parte das companhias aéreas de tal produto. Já foi referido, no capítulo 3, que as companhias aéreas atravessam grandes problemas relativamente ao conforto acústico nas suas cabines e que, se este for melhorado, muito provavelmente aumentará a procura dos seus voos.

Será, portanto, bastante útil pesquisar o interesse das companhias aéreas e, produzir uma conclusão sobre quanto é que, as mesmas, estariam despostas a pagar pela implementação do sistema em

estudo nos seus aviões. Com essa informação, torna-se possível saber até que ponto se pode investir no sistema.

### 6.1.2 Marcas e Preços

Para a construção do sistema foi referida a utilização de diferentes equipamentos e o seu tipo mas nunca foi referido quais as marcas a utilizar ou quanto é que iriam custar. Será, também, muito útil, no futuro, proceder a um estudo sobre quais as marcas que produzem microfones “*shotgun*” e as que produzem auscultadores “*in-ear*”, quais os preços individuais e os preços em série. Estudar, também, a grande visibilidade que uma companhia aérea traria a estas marcas se os seus produtos fossem utilizados em voos.

Finalmente, produzir uma estimativa de custos totais de produção e implementação do sistema numa companhia aérea.

### 6.1.3 Protótipo

O ramo da acústica está cada vez a ser mais explorado, fruto da facilidade que as pessoas têm, hoje em dia, em aceder a dispositivos cuja finalidade é a produção sonora. Embora bastante explorado, não deixa de ser um ramo com bastantes incertezas, talvez, devido à complexidade do ouvido e às características únicas que, cada ser humano possui no âmbito da receção sonora.

Assim sendo, a produção de um protótipo deste sistema torna-se fulcral para a elaboração de toda a parte experimental necessária para que se consiga identificar quais os problemas chave e quais as partes que geram mais incerteza.

Deverá ser produzido no âmbito da eletrotecnia, possivelmente, recorrendo ao software “Matlab” de forma a se conseguir simular todos os filtros e sistemas referidos no capítulo 4.1.

# Bibliografia

1. Bitencourt, R.F.d., *Desempenho de métodos de avaliação do conforto acústico no interior de aeronaves*, in *Centro Tecnológico* 2012, Universidade Federal de Santa Catarina.
2. Savransky, S.D., *Engineering of creativity (Introduction of Methodology of Inventive Problem Solving)*. 2000. 21 -23.
3. Navas, H.V.G., *TRIZ, uma metodologia para a resolução de problemas*. Guia de Empresas Certificadas, 2013. **08**.
4. Gadd, K., *Inventing with TRIZ*, in *TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving*. 2011, John Wiley & Sons, Ltd. p. 284-308.
5. Ilevbare, I.M., D. Probert, and R. Phaal, *A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice*. Technovation, 2013. **33**(2-3): p. 30-37.
6. Katie Barry, E.D., Michael S. Slocum. *What is TRIZ?* 2008 [cited 2013 14/05]; Available from: [http://www.triz-journal.com/archives/what\\_is\\_triz/](http://www.triz-journal.com/archives/what_is_triz/).
7. Tech, M.H. *A evolução dos computadores*. 2010 [cited 2013 09/04]; Available from: <http://russ4n0.wordpress.com/2010/06/15/a-evolucao-dos-computadores/>.
8. Rantanen, K. and E. Domb, *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals, Second Edition*. 2010: Taylor & Francis.
9. Ilevbare, I., et al., *Integration of TRIZ and roadmapping for innovation, strategy, and problem solving*. 2011.
10. Ma, J., et al. *Research and Application of the TRIZ Contradiction Matrix in OOD*. in *Software Engineering, 2009. WCSE '09. WRI World Congress on*. 2009.
11. de Carvalho, M.A. and U.F.d.S.C.P.d.P.-G.e.E.d. Produção, *Metodologia ideatriz para a ideação de novos produtos*. 2007: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.
12. Navas, H.V.G., *TRIZ: Design Problem Solving with Systematic Innovation*. Advances in Industrial Design Engineering. 2013.
13. Altshuller, G., *Tools of Classical Triz*. 1999: Ideation International Incorporated.
14. Nunes, I.L., *Ergonomic Risk Assessment Methodologies for Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Patent Overview*. Recent Patents on Biomedical Engineering, 2009. **2**(2): p. 121.
15. Bridger, R.S., *Introduction to Ergonomics*. 2009: CRC PressINC.
16. DANIELLOU, F., *A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos*. 2004: Edgard Blücher.



17. Huang, H. and U.o.S. California, *Efficient Acoustic Noise Suppression for Audio Signals*. 2006: University of Southern California.
18. Quehl, J., *Comfort Studies on Aircraft Interior Sound and Vibration*. 2001: Shaker.
19. Nunes, I.L., *Ruído. Higiene e Segurança no Trabalho*, 2010.
20. LARRY, G.R. and I.D. Jacobson, *Ride quality assessment III: questionnaire results of a second flight programme*. Ergonomics, 1977. **20**(5): p. 499-519.
21. Vink, P. and S. Hallbeck, *Editorial: Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model*. Applied Ergonomics, 2012. **43**(2): p. 271-276.
22. Mellert, V.B., Ingo; Freese, Nils; Weber, Reinhard., *Impact of sound and vibration on health, travel comfort and performance of flight attendants and pilots*. . Aerospace Science and Technology, 2008. **12**(1 January): p. 18-25.
23. Bitencourt, R.F.P., S.; Andrade, A.L, *Relevância dos aspectos vibroacústicos no conforto no interior de aeronaves*. Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, 2006. **Anais do I Simpósio de Acústica de Salas, Edificações e Escolas SIBRASE e XXI**(São Paulo).
24. van der Zwaag, M.D., et al., *The influence of music on mood and performance while driving*. Ergonomics, 2012. **55**(1): p. 12-22.
25. Pennig, S., J. Quehl, and V. Rolny, *Effects of aircraft cabin noise on passenger comfort*. Ergonomics, 2012. **55**(10): p. 1252-65.
26. REPORTER, T. *Child-free flights? Malaysia Airlines bans children from upper deck of its A380s*. 2012 12/04/2012 [cited 2013 06/03/2013]; Available from: <http://www.dailymail.co.uk/travel/article-2128161/Child-free-flights-Malaysia-Airlines-bans-children-upper-deck-A380s.html>.
27. Parsons, C.E., et al., *Listening to infant distress vocalizations enhances effortful motor performance*. Acta Paediatr, 2012. **101**(4): p. e189-91.
28. Molesworth, B.R.C. and M. Burgess, *Improving intelligibility at a safety critical point: In flight cabin safety*. Safety Science, 2013. **51**(1): p. 11-16.
29. Morrell, P., *The potential for European aviation CO2 emissions reduction through the use of larger jet aircraft*. Journal of Air Transport Management, 2009. **15**(4): p. 151-157.
30. Simpson, A.P., *Phonetic differences between male and female speech*. Language and Linguistics Compass, 2009. **3**(2): p. 621-640.
31. Fort, A. and C. Manfredi, *Acoustic analysis of newborn infant cry signals*. Medical Engineering & Physics, 1998. **20**(6): p. 432-442.
32. Panditrao, R.P.D.a.A.M., *Acoustical Analysis of Pain Cries in Neonates: Fundamental Frequency*. IJCA Special Issue on Electronics, Information and Communication Engineering, 2011. **ICEICE**: p. 18-21.
33. Hansen, C.H. and S.D. Snyder, *Active control of noise and vibration*. 1997: Chapman & Hall.



34. Kuo, S.M., S. Kuo, and D.R. Morgan, *Active noise control systems: algorithms and DSP implementations*. 1996: Wiley.
35. Das, D.P., D.J. Moreau, and B.S. Cazzolato, *Nonlinear active noise control for headrest using virtual microphone control*. *Control Engineering Practice*, 2013. **21**(4): p. 544-555.
36. contributors, W. *Active noise control* 2013 3 March 2013 [cited 2013 9 April]; Available from: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Active\\_noise\\_control&oldid=541870654](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Active_noise_control&oldid=541870654).
37. learningaboutelectronics. *What is Passive Noise Cancellation?* 2009 [cited 2013 11/04]; Available from: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/What-is-passive-noise-cancellation>.
38. Audio, E. *WHY DON'T YOU SELL THOSE POPULAR NOISE-CANCELING HEADPHONES?* 2008 [cited 2013 11/04]; Available from: <http://www.ear-head.com/Noise-canceling.html>.
39. Kontney, J., *Microphones*. *Broadcast Engineering*, 2012. **54**(3): p. 9-9.
40. Technica, A. *A Brief Guide to Microphones*. 2010 05/06/2013; Available from: <http://www.audio-technica.com/cms/site/9904525cd25e0d8d/>.
41. Alexander, C.K. and M.N.O. Sadiku, *Fundamentos de circuitos elétricos*. 2008: McGraw Hill.
42. Sheno, B.A., *Introduction to Digital Signal Processing and Filter Design*. 2005, Wiley. p. 213-217.
43. Jurica Ivošević, D.M., Karolina Krajček, *COMPARATIVE INTERIOR NOISE MEASUREMENTS IN A LARGE TRANSPORT AIRCRAFT – T URBOPROPS VS. TURBOFANS AIR-04*, 2012. **5th Congress of Alps-Adria Acoustics Association**
44. Cinema, C.d. *microfones direcionais shotgunboom como usar e qual comprar*. 2012 25/06/2012 [cited 2013 03/07/2013]; Available from: <http://www.cursodecinema.com/microfones-direcionais-shotgunboom-como-usar-e-qual-comprar/>.
45. Baken, R.J. and R.F. Orlikoff, *Clinical Measurement of Speech and Voice*. 2000: Singular Thomson Learning.
46. Solutions, E. *Comparison of Sound Isolating Earphones and BOSE Noise-Cancelling Headphones*. 2011 [cited 2013 08/07]; Available from: <http://www.earphonesolutions.com/coofsoiseaan.html>.

## Matriz de Contradições

A matriz de contradições encontra-se dividida em 5 páginas.

			Parâmetros de engenharia piorados							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	-	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-
	2	Peso do objeto parado	-	-	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 8, 29, 34	-	-	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-
	4	Comprimento do objeto parado	-	35, 28, 40, 29	-	-	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14
	5	Área do objeto em movimento	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	-	-	7, 14, 17, 4	-
	6	Área do objeto parado	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	-	-	-
	7	Volume do objeto em movimento	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 35, 4	-	1, 7, 4, 17	-	-	-
	8	Volume do objeto parado	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	-
	9	Velocidade	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-
	10	Força	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 1	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37
	11	Tensão ou pressão	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 34
	12	Forma	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35
	13	Estabilidade da composição	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40
	14	Resistência	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15
	15	Duração da ação do objeto em	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-
	16	Duração da ação do objeto parado	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38
	17	Temperatura	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4
	18	Brilho	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-
	21	Potência	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25
	22	Perda de energia	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7
	23	Perda de substância	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31
	24	Perda de informação	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22
	25	Perda de tempo	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18
	26	Quantidade de substância	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	-
	27	Confiabilidade	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24
	28	Precisão de medição	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	10, 28, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-
	29	Precisão de fabricação	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 28, 2	25, 10, 35
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4
	32	Manufacturabilidade	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 4	13, 29, 1, 40	35
	33	Conveniência de uso	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 31, 39
	34	Mantenabilidade	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 32, 13	16, 25	25, 2, 35, 11	1
	35	Adaptabilidade	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-
	36	Complexidade do objeto	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16
	37	Complexidade de controle	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31
	38	Nível de automação	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 28, 17	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-
	39	Capacidade ou produtividade	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2

			Parâmetros de engenharia piorados							
			9	10	11	12	13	14	15	16
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-
	2	Peso do objeto parado	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6
	3	Comprimento do objeto em movimento	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-
	4	Comprimento do objeto parado	-	28, 1	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 40, 35
	5	Área do objeto em movimento	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-
	6	Área do objeto parado	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30
	7	Volume do objeto em movimento	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-
	8	Volume do objeto parado	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38
	9	Velocidade	-	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-
	10	Força	13, 28, 15, 12	-	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-
	11	Tensão ou pressão	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-
	12	Forma	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	-	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-
	13	Estabilidade da composição	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	-	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23
	14	Resistência	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	-	27, 3, 26	-
	15	Duração da ação do objeto em	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-
	16	Duração da ação do objeto parado	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-
	17	Temperatura	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40
	18	Brilho	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	8, 15, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	36, 37	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-
	21	Potência	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16
	22	Perda de energia	16, 35, 38	36, 38	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	-
	23	Perda de substância	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38
	24	Perda de informação	26, 32	-	-	-	-	-	10	10
	25	Perda de tempo	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16
	26	Quantidade de substância	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31
	27	Confiabilidade	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40
	28	Precisão de medição	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24
	29	Precisão de fabricação	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	-
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22
	32	Manufacturabilidade	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16
	33	Conveniência de uso	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25
	34	Mantenabilidade	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	1, 11, 2, 9	11, 29, 28, 27	1
	35	Adaptabilidade	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16
	36	Complexidade do objeto	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	-
	37	Complexidade de controle	3, 4, 16, 35	36, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 25, 39	25, 34, 6, 35
	38	Nível de automação	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-
	39	Capacidade ou produtividade	-	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38

			Parâmetros de engenharia piorados							
			17	18	19	20	21	22	23	24
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35
	2	Peso do objeto parado	28, 19, 32, 22	35, 19, 32	-	18, 19, 28, 1	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35
	3	Comprimento do objeto em movimento	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24
	4	Comprimento do objeto parado	3, 35, 38, 18	3, 25	-	-	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26
	5	Área do objeto em movimento	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26
	6	Área do objeto parado	35, 39, 38	-	-	-	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16
	7	Volume do objeto em movimento	34, 39, 10, 18	10, 13, 2	35	-	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22
	8	Volume do objeto parado	35, 6, 4	-	-	-	30, 6	-	10, 39, 35, 34	-
	9	Velocidade	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	-	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26
	10	Força	35, 10, 21	-	19, 17, 10	1, 16, 36, 37	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	-
	11	Tensão ou pressão	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 37	-
	12	Forma	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	-
	13	Estabilidade da composição	35, 1, 32, 3, 32	32, 3, 27, 15	13, 19	27, 4, 29, 18	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	-
	14	Resistência	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	-
	15	Duração da ação do objeto em	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-	19, 10, 35, 38	-	28, 27, 3, 18	10
	16	Duração da ação do objeto parado	19, 18, 36, 40	-	-	-	16	-	27, 16, 18, 38	10
	17	Temperatura	-	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	-
	18	Brilho	32, 35, 19	-	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	32	19, 16, 1, 6	13, 1	1, 6
	19	Energia gasta pelo objeto em	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	-	-	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	-
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	19, 2, 35, 32	-	-	-	-	28, 27, 18, 31	-
	21	Potência	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	-	-	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19
	22	Perda de energia	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	3, 38	-	35, 27, 2, 37	19, 10
	23	Perda de substância	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	-	-
	24	Perda de informação	-	19	-	-	10, 19	19, 10	-	-
	25	Perda de tempo	35, 29, 21, 18	1, 19, 21, 17	35, 38, 19, 18	1	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32
	26	Quantidade de substância	3, 17, 39	-	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35
	27	Confiabilidade	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28
	28	Precisão de medição	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	-
	29	Precisão de fabricação	19, 26	3, 32	32, 2	-	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	-
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18	2, 35, 18	21, 35, 22, 2	10, 1, 34	10, 21, 29
	32	Manufacturabilidade	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16
	33	Conveniência de uso	26327, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	-	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22
	34	Mantenabilidade	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	-	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	-
	35	Adaptabilidade	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	-	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	-
	36	Complexidade do objeto	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	-	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	-
	37	Complexidade de controlo	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	19, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22
	38	Nível de automação	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	-	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33
	39	Capacidade ou produtividade	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	35, 23	13, 15, 23

			Parâmetros de engenharia piorados							
			25	26	27	28	29	30	31	32
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	3, 11, 1, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36
	2	Peso do objeto parado	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17
	4	Comprimento do objeto parado	30, 29, 14	-	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18	-	15, 17, 27
	5	Área do objeto em movimento	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24
	6	Área do objeto parado	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35	22, 1, 40	40, 16
	7	Volume do objeto em movimento	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40
	8	Volume do objeto parado	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	-	35, 10, 25	34, 39, 19, 27	30, 18, 35, 4	35
	9	Velocidade	-	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23	2, 24, 32, 21	35, 13, 8, 1
	10	Força	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1
	11	Tensão ou pressão	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37	2, 33, 27, 18	1, 35, 16
	12	Forma	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28
	13	Estabilidade da composição	35, 27	15, 32, 35	-	13	18	35, 23, 18, 30	35, 40, 27, 39	35, 19
	14	Resistência	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32
	15	Duração da ação do objeto em movimento	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4
	16	Duração da ação do objeto parado	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24	-	17, 1, 40, 33	22	35, 10
	17	Temperatura	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27
	18	Brilho	19, 1, 26, 17	1, 19	-	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	-	1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	3, 35, 31	10, 36, 23	-	-	10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4
	21	Potência	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34
	22	Perda de energia	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	-	21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22	-
	23	Perda de substância	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 10	10, 1, 34, 29	15, 34, 33
	24	Perda de informação	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	-	-	22, 10, 1	10, 21, 22	32
	25	Perda de tempo		35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4
	26	Quantidade de substância	35, 38, 18316		18, 3, 28, 40	3, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27
	27	Confiabilidade	10, 30, 4	21, 28, 40, 3		32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40	35, 2, 40, 26	-
	28	Precisão de medição	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23		-	28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18
	29	Precisão de fabricação	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	-		26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	-
	30	Fatores externos indesejados atuando no objeto	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18		-	24, 35, 2
	31	Fatores indesejados causados pelo objeto	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	-		-
	32	Manufacturabilidade	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24	-	1, 35, 12, 18	-	24, 2	-	
	33	Conveniência de uso	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39	-	2, 5, 12
	34	Mantenabilidade	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 102, 16	-	1, 35, 11, 10
	35	Adaptabilidade	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	-	35, 11, 32, 31	-	1, 13, 31
	36	Complexidade do objeto	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13
	37	Complexidade de controle	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28	-	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29
	38	Nível de automação	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13
	39	Capacidade ou produtividade	-	35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	32, 1, 18, 10	22, 35, 13, 24	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24

			Parâmetros de engenharia piorados						
			33	34	35	36	37	38	39
Parâmetros de engenharia a ser melhorados	1	Peso do objeto em movimento	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
	2	Peso do objeto parado	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 25, 28, 26, 39	2, 26, 17, 15	2, 26, 15, 35	1, 28, 15, 35
	3	Comprimento do objeto em movimento	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
	4	Comprimento do objeto parado	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	-	30, 14, 7, 26
	5	Área do objeto em movimento	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
	6	Área do objeto parado	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7
	7	Volume do objeto em movimento	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34
	8	Volume do objeto parado	-	1	-	1, 31	2, 17, 26	-	35, 37, 10, 2
	9	Velocidade	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	-
	10	Força	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37
	11	Tensão ou pressão	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37
	12	Forma	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
	13	Estabilidade da composição	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
	14	Resistência	32, 40, 28, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
	15	Duração da ação do objeto em	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19
	16	Duração da ação do objeto parado	1	1	2	-	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
	17	Temperatura	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 16	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	23, 2, 19, 16	15, 28, 35
	18	Brilho	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16
	19	Energia gasta pelo objeto em movimento	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35
	20	Energia gasta pelo objeto parado	-	-	-	-	19, 35, 16, 25	-	1, 6
	21	Potência	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
	22	Perda de energia	35, 32, 1	2, 19	-	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
	23	Perda de substância	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
	24	Perda de informação	27, 22	-	-	-	35, 33	35	13, 23, 15
	25	Perda de tempo	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	-
	26	Quantidade de substância	35, 29, 10, 25	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
	27	Confiabilidade	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
	28	Precisão de medição	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
	29	Precisão de fabricação	1, 32, 35, 23	25, 10	-	26, 2, 18	-	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
	30	Fatores externos indesejados atuando	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24
	31	Fatores indesejados causados pelo	-	-	-	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
	32	Manufacturabilidade	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
	33	Conveniência de uso	-	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 25, 12, 17	-	1, 34, 12, 3	15, 1, 28
	34	Mantenabilidade	1, 12, 26, 15	-	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	-	34, 35, 7, 13	1, 32, 10
	35	Adaptabilidade	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	-	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
	36	Complexidade do objeto	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	-	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
	37	Complexidade de controle	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	-	34, 21	35, 18
	38	Nível de automação	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	-	5, 12, 35, 26
	39	Capacidade ou produtividade	1, 28, 7, 19	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	-

